

树人·挹青苑·
高中物理

选择性必修第二册

主　　编：周迎春　卿知人

本册主编：方全波　刘福林

本册编委：陈　杨　戴光敏　黄　玲　蒋光明

焦玉璞　吕　敏　李素廷　苏燕平

吴骏飞　吴双飞　肖星星　许植伟

张　辉　翟建平　张　宇　张渝梓

重庆出版集团　重庆出版社

图书在版编目(CIP)数据

树人·挹青苑. 高中物理 选择性必修 第二册 / 周迎春, 卿知人主编. —重庆 : 重庆出版社, 2023.7
ISBN 978-7-229-17729-4

Ⅰ.①树… Ⅱ.①周… ②卿… Ⅲ.①中学物理课-高中-教学参考资料 Ⅳ.①G634

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 117451 号

树人·挹青苑·高中物理(选择性必修第二册)
SHUREN · YIQINGYUAN · GAOZHONG WULI(XUANZEXING BIXIU DIERCE)
主编:周迎春　卿知人

责任编辑:谢　菁
装帧设计:李　妮　李秋怡　何　兵

重庆出版集团
重 庆 出 版 社　出版
(重庆市南岸区南滨路 162 号 1 幢　邮编:400061)
重庆市联谊印务有限公司印刷
重庆市天下图书有限责任公司发行　http://www.21txbook.com
(重庆市渝北区余松西路 155 号两江春城春玺苑写字楼 2 栋 14 楼　邮编:401147)

开本:890mm×1240mm　1/16　印张:10　字数:272 千
版次:2023 年 8 月第 1 版　印次:2024 年 7 月第 2 次印刷
书号:ISBN 978-7-229-17729-4
定价:46.80 元

如有印装质量问题,请与重庆市天下图书有限责任公司联系调换:(023)63658932

目录

Contents

第一章　安培力和洛伦兹力

第二章　电磁感应

第三章　交变电流

第一章　安培力和洛伦兹力

1.1　磁场　磁感线

知识清单

（一）磁现象

1. 磁性：能够吸引铁、钴、镍等物质的性质。
2. 磁体：具有磁性的物质。
3. 磁极：磁体上磁性最强的部分叫磁极。

（二）电和磁的联系

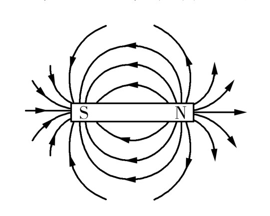
1. 奥斯特实验说明除磁体外，电流也能产生磁场，这被称为电流的磁效应。
2. 所有的磁体、电流之间的相互作用，都是通过磁场来传递的。

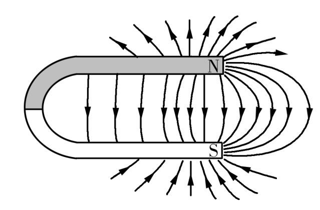
（三）磁场

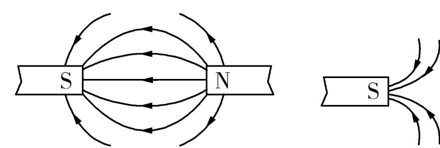
1. 定义：磁体与磁体之间、磁体与通电导体之间，以及通电导体与通电导体之间的相互作用，是通过磁场发生的。
2. 方向：小磁针静止时 N 极所指的方向为该点的磁场方向。

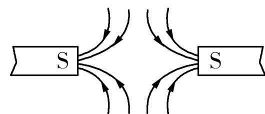
（四）磁感线

1. 定义：沿着磁场中的铁屑画出一些线，使曲线上的每一点的切线方向跟这一点的磁场方向一致，这样的曲线叫作磁感线，磁感线较密的地方磁场较强。
2. 常见磁铁周围的磁场





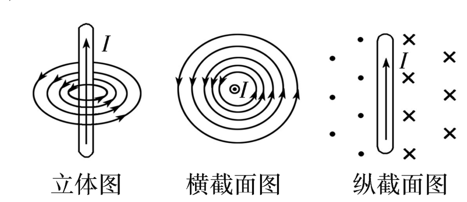




（五）安培定则

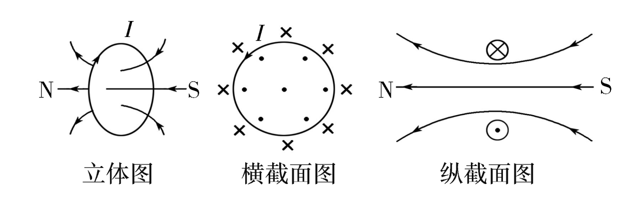
1. 安培定则（也叫右手螺旋定则）：用右手握住导线，让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线环绕的方向。
2. 不同种类的电流产生的磁场

（1）直线电流



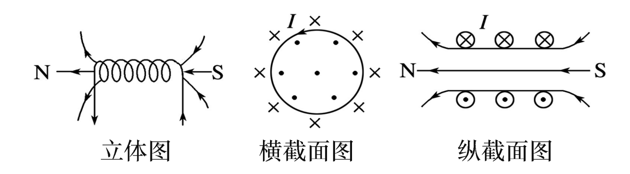
立体图　横截面图　纵截面图

（2）环形电流



立体图　横截面图　纵截面图

（3）通电螺线管电流

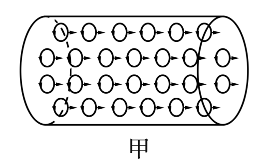


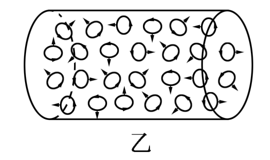
立体图　横截面图　纵截面图

（六）安培分子电流假说

1. 内容：分子电流，它的两侧相当于两个磁极。
2. 当铁棒中分子电流的取向大致相同时，铁

棒对外显磁性(如图甲);当铁棒中分子电流的取向变得杂乱无章时,铁棒对外不显磁性(如图乙)。


甲


乙

3. 安培分子电流假说说明一切磁现象都是由电荷的运动产生的。

课堂笔记

典型例题

【例 1】判断正误:

(1)条形磁铁从中间断开后,每一段只剩一个磁极。( )

(2)首先发现电流的磁效应的是丹麦物理学家奥斯特,他发现电流的周围能产生磁场。( )

(3)大磁铁的磁性较强,对小磁针的作用力大,但小磁针对大磁铁的作用力较小。( )

(4)任何两个磁体之间产生的磁场力总是大小相等、方向相反。( )

(5)磁极和磁极之间的相互作用是通过磁场发生的。( )

(6)电流和电流之间的相互作用是通过电场发生的。( )

(7)磁场并不是真实存在的,而是人们假想出来的。( )

(8)在地面上放置一个小磁针,小磁针的南极指向地磁场的南极。( )

(9)地磁场的南极在地理北极附近。( )

(10)地球上任何地方的地磁场方向都是和地面平行的。( )

【例 2】下列说法不正确的是( )

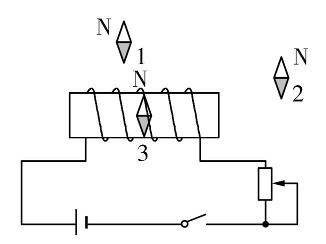
A. 磁场是客观存在的一种物质

B. 磁体上磁性最强的部分叫磁极,任何磁体都有两个磁极

C. 磁体或电流会在自己周围的空间产生磁场

D. 磁体与磁体间的相互作用是通过磁场发生的,而磁体与通电导体间以及通电导体与通电导体之间的相互作用不是通过磁场发生的

【例 3】电路开关没闭合时三枚小磁针方向如图。试确定开关闭合后三枚小磁针的转向及最后的指向。



课后训练

1. 关于磁场,下列说法正确的是( )

A. 磁场的基本性质是对处于其中的磁体或通电导体有力的作用

B. 磁场是看不见、摸不着、实际不存在的,是人们假想出来的一种物质

C. 磁场是磁体周围或通电导体周围存在的一种物质,有小磁针放入其中时,存在磁场;无小磁针放入时,不存在磁场

D. 磁场的存在与否决定于人的思想,想其有则有,想其无则无

2. 在做奥斯特实验时，下列操作中实验现象最明显的是(　　)

A. 沿导线方向放置磁针，使小磁针在导线的延长线上

B. 垂直于导线方向放置磁针，使小磁针在导线的正下方

C. 导线沿南北方向放置在小磁针的正上方

D. 导线沿东西方向放置在小磁针的正上方

3. 下列关于地磁场的说法正确的是(　　)

A. 地球的地磁两极和地理两极重合

B. 我们用指南针确定方向，指南的一极是指南针的北极

C. 地磁的北极与地理的南极重合

D. 地磁的北极在地理的南极附近

4. 关于磁场和磁感线的描述，下列说法正确的是(　　)

A. 磁感线总是从磁铁的 N 极出发，到 S 极终止的

B. 磁感线可以形象地描述各磁场的强弱和方向，它每一点的切线方向都和小磁针放在该点静止时北极所指的方向一致

C. 磁感线可以用细铁屑来显示，因而是真实存在的

D. 两个磁场的叠加区域，磁感线可能相交

5. 如图所示，弹簧测力计下挂一铁球，将弹簧测力计自左向右从条形磁铁上方缓慢移动时，弹簧测力计的示数(　　)

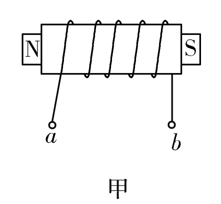
A. 不变

B. 逐渐减小

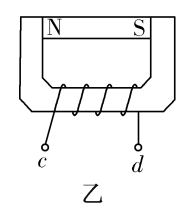
C. 先减小后增大

D. 先增大后减小

6. 磁铁的磁性变弱，需要充磁。充磁的方式有两种，图甲是将条形磁铁穿在通电螺线管中，图乙是将条形磁铁夹在电磁铁之间，a、b 和 c、d 接直流电源，下列接线方式正确的是(充磁时应使外磁场与磁铁的磁场方向相同)(　　)



甲



乙

A. a 接电源正极，b 接负极，c 接电源正极，d 接负极

B. a 接电源正极，b 接负极，c 接电源负极，d 接正极

C. a 接电源负极，b 接正极，c 接电源正极，d 接负极

D. a 接电源负极，b 接正极，c 接电源负极，d 接正极

7. 19 世纪 20 年代，以塞贝克为代表的科学家已认识到：温度差会引起电流。安培考虑到地球自转会造成太阳照射后地球正面与背面的温度差，从而提出如下假设：地球磁场是由绕地球的环形电流引起的。该假设中电流的方向是(　　)

A. 由西向东垂直磁子午线

B. 由东向西垂直磁子午线

C. 由南向北沿磁子午线方向

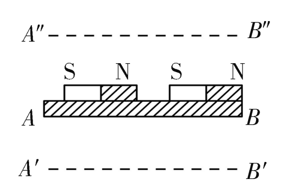
D. 由赤道向两极沿磁子午线方向

8. 两个完全相同的条形磁铁，放在平板 AB 上，磁铁的 N、S 极如图所示，开始时平板和磁铁均处于水平位置，且静止不动。

a. 若将 AB 突然竖直向上平移(平板与磁铁之间始终接触)，并使之停在 $A''B''$ 处，结果发现两个条形磁铁吸在了一起。

b. 若将 AB 从原来位置突然竖直向下平移，并使之停在 $A'B'$ 处，结果发现两个条形磁铁也吸在了一起。

回答下列问题：



(1)开始时两磁铁静止不动的原因是____；左侧的磁铁受到的静摩擦力的方向向________。

(2)在 a 过程中，磁铁开始滑动时，平板在向上做________（选填“加速”或“减速”）运动。

(3)在 b 过程中，磁铁开始滑动时，平板在向下做________（选填“加速”或“减速”）运动。

(4)若平板 AB 突然向右加速，则左侧的磁铁将会做什么运动？

1.2 磁感应强度 磁通量

知识清单

（一）电流元

1. 定义：很短一段通电导线中的电流 I 与导线长度 l 的乘积 Il。
2. 由于导线必须接到电源才有电流，实际上孤立的电流元不存在。

（二）磁感应强度（B）

1. 通电直导线与磁场方向垂直时的受力大小 F 与导线长度 l 和导线中的电流 I 的乘积 Il 成正比，即 $F=BIl$（式中 B 与导线的长度和电流的大小都没有关系）。将电流元 Il 垂直放入磁场，它受到的磁场力 F 与 Il 的比值叫磁感应强度（B）。
2. 定义：描述磁场强弱和方向的物理量（矢量）。
3. 单位：特斯拉，简称特，符号是 T。

（三）匀强磁场

1. 定义：磁感应强度的大小、方向处处相同的磁场。
2. 匀强磁场的磁感线用一些间隔相等的平行直线表示。
3. 实例：距离很近的两个平行的异名磁极间的磁场，相隔适当距离的两个平行放置的通电线圈中间区域的磁场都是匀强磁场。

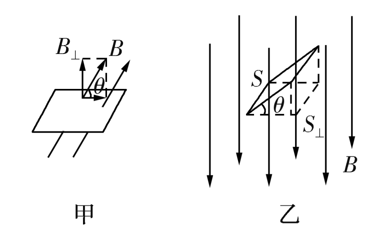
（四）磁通量

1. 定义：在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直的平面，面积为 S，把 B 与 S 的乘积叫作穿过这个面积的磁通量（Φ）。
2. 单位：韦伯，简称韦，符号是 Wb。
3. 匀强磁场中磁通量的计算

(1)B 与 S 垂直时，$\Phi=BS$。

(2)B 与 S 不垂直时，$\Phi=B_{\perp}S$，$B_{\perp}$ 为 B 垂直于线圈平面的分量，如图甲所示，$\Phi=B_{\perp}S=(B\sin\theta)\cdot S$。

也可以是 $\Phi=BS_{\perp}$，$S_{\perp}$ 为线圈在垂直磁场方向上的投影面积，如图乙所示，$\Phi=BS_{\perp}=BS\cos\theta$。



课堂笔记

典型例题

【例1】判断正误：

(1)磁感应强度是标量，只能表示磁场强弱，不能表示磁场方向。（　　）

(2)磁感应强度是矢量，磁感应强度的方向就是磁场的方向。（　　）

(3)在任何情况下磁感应强度的方向与小磁针N极受力的方向都相同。（　　）

(4)磁感应强度的方向与小磁针静止时N极的指向一定相同。（　　）

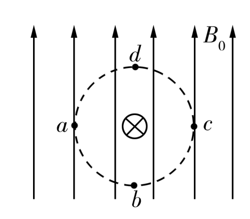
(5)通电导线在磁场中受到的磁场力为零，则说明该处的磁感应强度为零。（　　）

(6)磁感应强度的大小与电流成反比，与其受到的磁场力成正比。（　　）

(7)磁感应强度的大小等于通电导线受到的磁场力的大小F与电流I和导线长度l的乘积的比值。（　　）

(8)通电导线只有垂直磁场放置时，所受的安培力才与Il成正比。（　　）

【例2】在磁感应强度为B_0、方向竖直向上的匀强磁场中，水平放置一根长通电直导线，电流的方向垂直于纸面向里。如图所示，a、b、c、d是以直导线为圆心的同一圆周上的四点，在这四点中（　　）



A. b、d两点的磁感应强度相等

B. a、b两点的磁感应强度相等

C. c点的磁感应强度的值最小

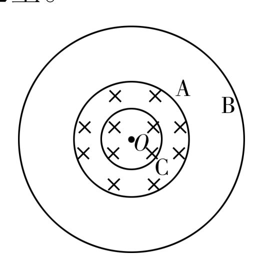
D. b点的磁感应强度的值最大

【例3】有一小段通电导线，长为1 cm，导线中电流为5 A，把它置于磁场中某点，受到的磁场力为0.1 N，则该点的磁感应强度B（　　）

A. $B=2$ T　　　　B. $B\leqslant 2$ T

C. $B\geqslant 2$ T　　　　D. 以上情况都有可能

【例4】如图所示，有一垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为B，磁场有明显的圆形边界，圆心为O，半径为r，现于纸面内先后放上圆线圈A、B、C，圆心均处于O处。线圈A的半径为r，10匝；线圈B的半径为$2r$，1匝；线圈C的半径为$\frac{r}{2}$，1匝。分别求出线圈A、B、C中的磁通量。



课后训练

1. 下列关于磁感应强度的说法中正确的个数为(　　)

①垂直于磁场放置的通电导线的受力方向,就是该点磁感应强度的方向。

②根据$B=\frac{F}{Il}$可知,某点磁感应强度的大小与电流元的电流和长度的乘积成反比。

③一小段通电导线放在某处不受磁场力的作用,则该处没有磁场。

④磁场中某处的磁感应强度大小,就是通过电流为I、长为l的一小段导线放在该处时,所受的磁场力F与I、l乘积的比值。

A. 3 个　　B. 2 个

C. 1 个　　D. 0 个

2. 现有一段长$L=0.2$ m,通有电流$I=2.5$ A的直导线,关于此导线在磁感应强度为B的磁场中所受磁场力F的情况,下列说法正确的是(　　)

A. 如果$B=2$ T,则F一定为1 N

B. 如果$F=0$,则B也一定为零

C. 如果$B=4$ T,则F有可能为2 N

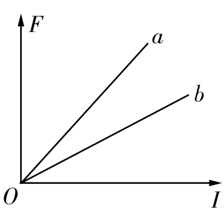
D. 当F为最大值时,通电导线一定与B平行

3. 磁感应强度的单位是特斯拉(T),与它等价的是(　　)

A. $\frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\text{m}}$　　B. $\frac{\text{N}\cdot\text{A}}{\text{m}}$

C. $\frac{\text{N}\cdot\text{A}}{\text{m}^2}$　　D. $\frac{\text{N}}{\text{A}\cdot\text{m}^2}$

4. 先后在磁场中A、B两点引入长度相等的短直导线,导线与磁场方向垂直。如图所示,图中a、b两图线分别表示在磁场中A、B两点导线所受的力F与通过导线的电流I的关系。下列说法正确的是(　　)



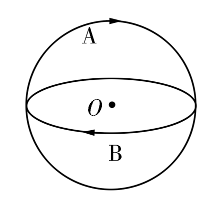
A. A、B两点磁感应强度相等

B. A点的磁感应强度大于B点的磁感应强度

C. A点的磁感应强度小于B点的磁感应强度

D. 无法比较A、B两点磁感应强度的大小

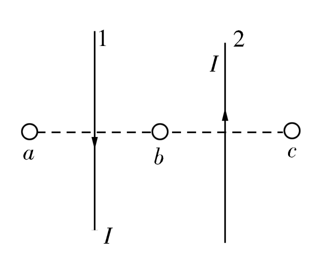
5. 两个相同的通电圆环A、B的圆心重合在O点,两环的圆面相互垂直,通电的电流大小相同,电流方向如图。设每个圆环在其圆心O处独立产生的磁感应强度为B_0,则O处的磁感应强度大小为(　　)



A. 0　　B. B_0

C. $\sqrt{2}B_0$　　D. 2 B_0

6. 如图所示,平行长直导线1、2通过相反方向的电流,电流大小相等。a、b两点关于导线1对称,b、c两点关于导线2对称,且$ab=bc$,则下列关于a、b、c三点的磁感应强度的说法正确的是(　　)



A. 三点的磁感应强度相同

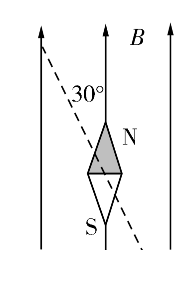
B. b点的磁感应强度最大

C. a、c两点的磁感应强度大小相同,方向相反

D. a点的磁感应强度最大

7. 科考队进入某一磁矿区域后,发现指南针原来指向正北的N极逆时针转过30°(如图),设该位置地磁场磁感应强度水平分量为B,则磁矿产生的磁场水平分量最小时

的值为(　　)



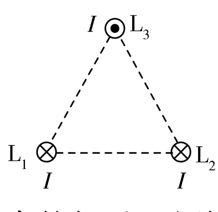
A. $\frac{B}{2}$

B. B

C. $2B$

D. $\frac{\sqrt{3}B}{2}$

8. (多选)如图,三根相互平行的固定长直导线 L_1、L_2 和 L_3 两两等距,均通有电流 I,L_1 中电流方向与 L_2 中的相同,与 L_3 中的相反,下列说法正确的是(　　)



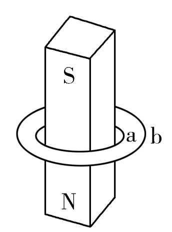
A. L_1 所受磁场作用力的方向与 L_2、L_3 所在平面垂直

B. L_3 所受磁场作用力的方向与 L_1、L_2 所在平面垂直

C. L_1、L_2 和 L_3 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $\sqrt{3}:\sqrt{3}:1$

D. L_1、L_2 和 L_3 单位长度所受的磁场作用力大小之比为 $1:1:\sqrt{3}$

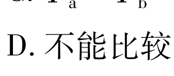
9. 如图所示,a、b 是两个同平面、同心放置的金属圆环,条形磁铁穿过圆环且与两环平面垂直,则穿过两圆环的磁通量 Φ_a、Φ_b 的大小关系为(　　)



A. $\Phi_a > \Phi_b$

B. $\Phi_a < \Phi_b$

C. $\Phi_a = \Phi_b$



D. 不能比较

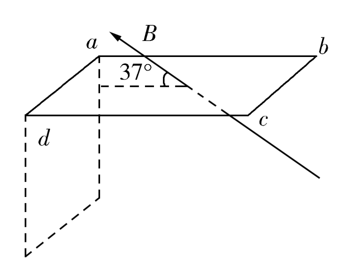
10. 匀强磁场(各点的磁感应强度大小、方向均相同的磁场)中长为 2 cm 的通电导线垂直磁场方向放置,当通过导线的电流为 2 A 时,它受到的磁场力大小为 4×10^{-3} N,问:

(1)该处的磁感应强度 B 是多大?

(2)若电流不变,导线长度减小到 1 cm,则该处的磁感应强度 B 和它受到的磁场力 F 各是多少?

(3)若导线长度不变,电流增大为 5 A,则该处的磁感应强度 B 和它受到的磁场力 F 各是多少?

11. 我国的探月卫星在进入地月转移轨道时,由于卫星姿势的改变,卫星中一边长为 50 cm的正方形导线框由水平方向转至竖直方向,此处磁场磁感应强度 $B=4\times10^{-5}$ T,方向如图所示。($\sin 37°=0.6$, $\cos 37°=0.8$)初末状态的磁通量各是多少?(规定初状态磁通量为正)

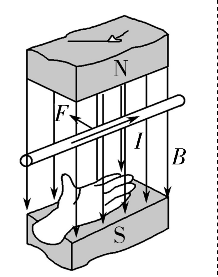


1.3.1 磁场对通电导线的作用力(一)

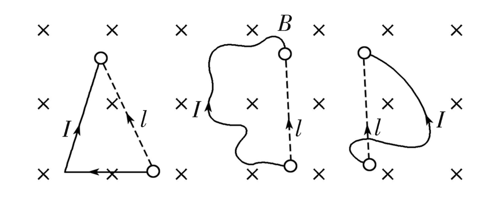
知识清单

(一)安培力

1. 安培力:通电导线在磁场中受的力。
2. 决定安培力方向的因素
   (1)电流方向。
   (2)磁感应强度方向。
3. 左手定则:如图所示,伸开左手,使拇指与其余四个手指垂直,并且都与手掌在同一个平面内,让磁感线从掌心进入,并使四指指向电流的方向,这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

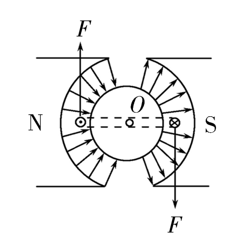


4. 安培力方向的特点:与电流方向、磁感应强度方向都垂直,即安培力 F 垂直于 B 和 I 所决定的平面。
5. 安培力的大小:当磁感应强度与通电导线之间的夹角为 θ 时安培力的大小 $F=IlB\sin\theta$。
   (1)当通电导线与磁感线垂直时,所受的安培力最大,$F=IlB$。
   (2)当通电导线与磁感线平行时,所受安培力 $F=0$。
   (3)有效长度



(二)磁电式电流表

1. 构造:磁铁、线圈、螺旋弹簧、极靴等。



2. 原理:通电线圈在磁场中受到安培力而偏转,线圈偏转的角度越大,被测电流就越大,根据线圈偏转的方向,可以知道被测电流的方向。
3. 优缺点:优点是灵敏度高,可以测出很弱的电流;缺点是绕制线圈的导线很细,允许通过的电流很弱。

课堂笔记

典型例题

【例1】判断正误:

(1)通电直导线所受安培力的方向与磁场的方向垂直。 ( )

(2)通电直导线所受安培力的方向与直导线电流的方向垂直。 ( )

(3)若电流和磁场方向都变为与原来反向,则安培力的方向也变为与原来反向。 ( )

(4)通电导线在磁场中不一定受安培力。（　　）

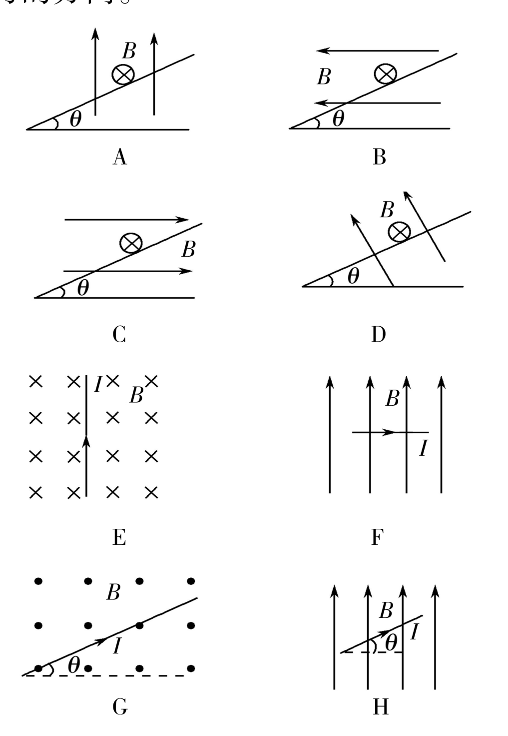
(5)一段通电导线放在磁场中某处不受安培力,该处的磁感应强度一定是零。（　　）

(6)磁电式电流表通电线圈中的电流越大,电流表指针偏转角度也越大。（　　）

(7)磁电式电流表在线圈转动的范围内,各处的磁场都是匀强磁场。（　　）

(8)磁电式电流表在线圈转动的范围内,线圈所受安培力大小与电流大小有关,与所处位置无关。（　　）

【例2】画出图中各磁场对通电导线产生的安培力的方向。

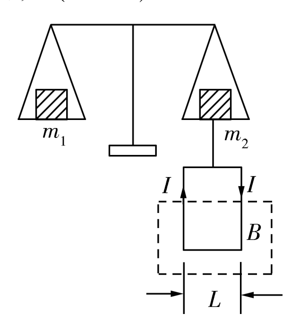


【例3】如图所示,长为 $2l$ 的直导线折成边长相等、夹角为60°的V形,并置于与其所在平面相垂直的匀强磁场中,磁感应强度为 B。当在该导线中通以电流强度为 I 的电流时,该V形通电导线受到的安培力大小为(　　)

A. 0　　B. $0.5BIl$

C. BIl　　D. $2BIl$

【例4】如图所示的天平可用来测量磁场的磁感应强度。天平的右臂下面挂一个矩形线圈,宽为 L,共 N 匝,线圈的下部悬在匀强磁场中,磁场方向垂直于纸面。当线圈中通有电流 I(方向如图所示)时,在天平两边加上质量分别为 m_1、m_2 的砝码时,天平平衡;当电流反向(大小不变)时,右边再加上质量为 m 的砝码后,天平又重新平衡。由此可知(　　)



A. 磁感应强度方向垂直纸面向里,大小为 $\frac{(m_1-m_2)g}{NIL}$

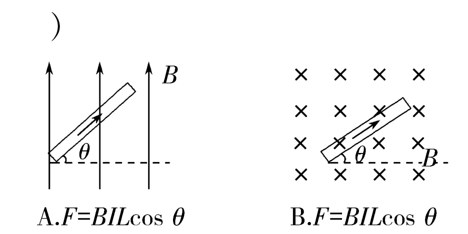
B. 磁感应强度方向垂直纸面向里,大小为 $\frac{mg}{2NIL}$

C. 磁感应强度方向垂直纸面向外,大小为 $\frac{(m_1-m_2)g}{NIL}$

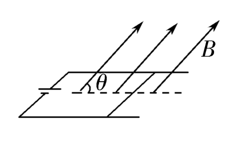
D. 磁感应强度方向垂直纸面向外,大小为 $\frac{mg}{2NIL}$

课后训练

1. 长度为 L、通有电流为 I 的直导线放入一匀强磁场中,电流方向与磁场方向分别如图所示,已知磁感应强度为 B,对于下列各图中,导线所受安培力的大小计算正确的是(　　)

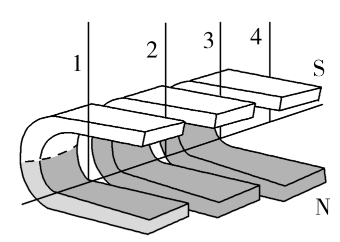


A. $F=BIL\cos\theta$　　B. $F=BIL\cos\theta$



C.$F=BIL\sin\theta$　　D.$F=BIL\sin\theta$

2. 如图是“探究影响通电导体在磁场中受力因素”的实验示意图。三块相同的马蹄形磁铁并列放置在水平桌面上，导体棒用图中轻而柔软的细导线1、2、3、4悬挂起来，它们之中的任意两根与导体棒和电源构成回路。认为导体棒所在位置附近为匀强磁场，最初导线1、4接在直流电源上，电源没有在图中画出。关于接通电源时可能出现的实验现象，下列叙述正确的是（　　）



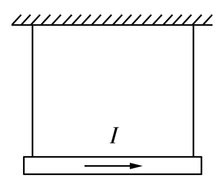
A. 改变电流方向同时改变磁场方向，导体棒摆动方向将会改变

B. 仅改变电流方向或者仅改变磁场方向，导体棒摆动方向一定改变

C. 增大电流同时改变接入导体棒上的细导线长度，通电时，导体棒摆动幅度一定增大

D. 仅拿掉中间的磁铁，导体棒摆动幅度不变

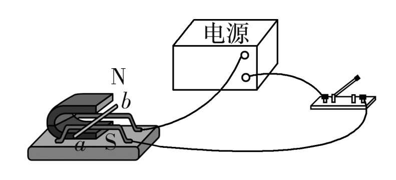
3. 如图，两根绝缘细线吊着一根铜棒，空间存在垂直纸面向里的匀强磁场，棒中通有向右的电流时两线上拉力大小均为 F_1。若棒中电流大小不变，方向相反，两线上的拉力大小均为 F_2，且 $F_2>F_1$，则铜棒所受安培力大小为（　　）



A. F_1+F_2　　B. F_2-F_1

C. $2F_1+2F_2$　　D. $2F_1-F_2$

4. 如图为某同学设计的研究磁场对通电金属棒作用的实验装置。当接通开关时，有电流通过金属棒，观察到金属棒向左运动，则下列说法正确的是（　　）



A. 此时通过金属棒的电流是由电源经 b 流向 a

B. 若调换U形磁铁的磁极，则金属棒仍向左运动

C. 若调换流经金属棒的电流方向，则金属棒仍向左运动

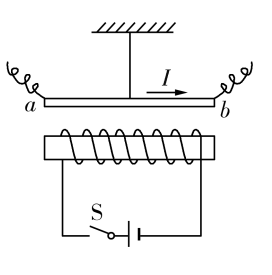
D. 若同时调换U形磁铁的磁极和流经金属棒的电流方向，则金属棒仍向左运动

5. 高压直流输电（HVDC）是20世纪50年代发展起来的一种新型输电方式。“葛洲坝—上海”为中国第一个超高压远距离直流输电工程。假设葛洲坝在上海的正西方，我国上空的地磁场平行地面沿南北方向，对于某根通有从葛洲坝到上海的直流电的水平架空的输电导线，所受地磁场作用力的方向为（　　）

A. 向上　　B. 向下

C. 向南　　D. 向北

6. 如图，把一根通电的硬直导线 ab 用轻绳悬挂在螺线管正上方，直导线中的电流方向由 a 向 b。闭合开关S瞬间，导线 a 端所受安培力的方向是（　　）



A. 向上　　B. 向下

C. 垂直纸面向外　　D. 垂直纸面向里

7. 如图所示，磁场方向竖直向下，通电直导线 ab 由水平位置1绕 a 点在竖直平面内转到

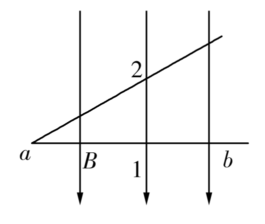
位置 2,通电导线所受安培力(　　)

A. 数值变大,方向不变

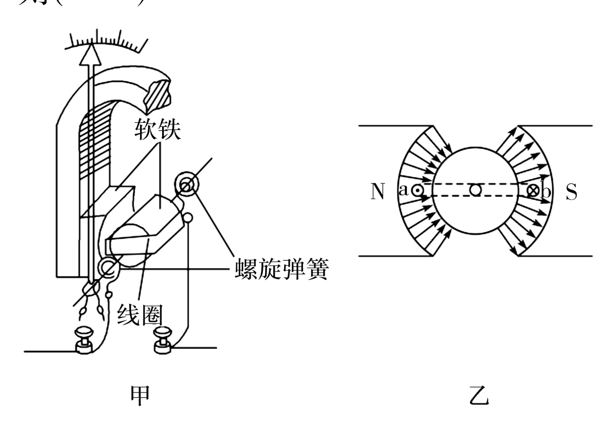
B. 数值变小,方向不变

C. 数值不变,方向改变

D. 数值、方向均改变



8. 图甲是磁电式电流表的结构示意图,蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布,如图乙所示。边长为 L 的正方形线圈中通以电流 I,线圈中的 a 导线电流方向垂直纸面向外,b 导线电流方向垂直纸面向里,a、b 两条导线所在处的磁感应强度大小均为 B,则(　　)



甲　　　　　乙

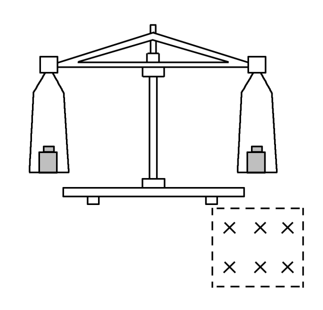
A. 该磁场是匀强磁场

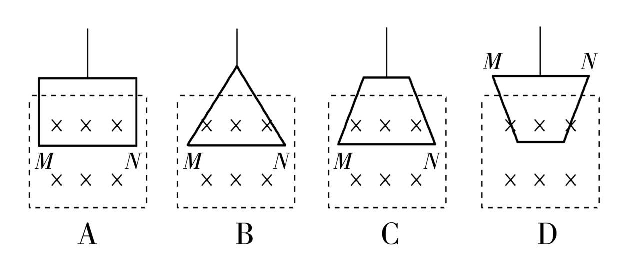
B. 线圈转动时扫过的位置的磁场恒定

C. a 导线受到的安培力方向向下

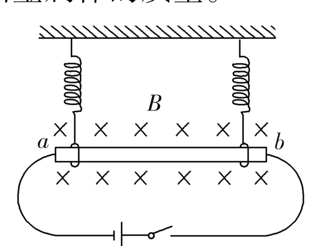
D. b 导线受到的安培力大小为 BIL

9. 如图所示,用天平测量匀强磁场的磁感应强度。下列各选项图中的载流线圈匝数相同,边长 MN 相等,将它们分别挂在天平的右臂下方。线圈中通有大小相同的电流,天平处于平衡状态。若磁场发生微小变化,天平最容易失去平衡的是(　　)





10. 如图,一根长为 10 cm 的金属棒 ab 用两个完全相同的弹簧水平地悬挂在匀强磁场中,磁场的磁感应强度大小为 0.1 T,方向垂直于纸面向里。弹簧上端固定,下端与金属棒绝缘。金属棒通过开关与一个电动势为 12 V 的电池相连,电路总电阻为 2 Ω。已知开关断开时两个弹簧的伸长量均为0.5 cm。闭合开关,系统重新平衡后,两个弹簧的伸长量与开关断开时相比均改变了 0.3 cm,重力加速度大小取 10 m/s^2。判断开关闭合后金属棒所受安培力的方向,并求出金属棒的质量。



1.3.2　磁场对通电导线的作用力(二)

知识清单

(一)安培力作用下导体运动方向的判断

常见方法:电流元法、特殊位置法、等效法、利用结论法、转换研究对象法。

(二)安培力作用下导体的平衡

1. 解题步骤:明确研究对象;先把立体图改画成平面图,并将题中的角度、电流的方向、磁场的方向标注在图上;正确进行受力分析(包括安培力),根据平衡条件 $F_{合}=0$ 列方程求解。
2. 通电直导线平行放置时的相互作用:同向电流相互吸引,反向电流相互排斥。

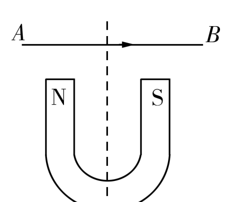
(三)安培力和牛顿第二定律的综合

解题思路:首先选取研究对象,对其进行受力分析(物体受力考虑全面);再判断其电流方向与大小,结合左手定则,在受力分析图上加上安培力;最后用牛顿第二定律分析动力学过程。

课堂笔记

典型例题

【例1】如图所示,把一重力不计的通电直导线 AB 水平放在蹄形磁铁磁极的正上方,导线可以在空间自由运动,当导线通以图示方向电流 I 时,导线的运动情况是(从上往下看)(　　)



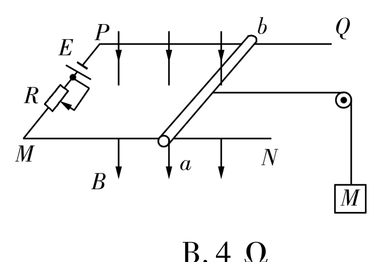
A. 顺时针方向转动,同时下降

B. 顺时针方向转动,同时上升

C. 逆时针方向转动,同时下降

D. 逆时针方向转动,同时上升

【例2】如图,PQ 和 MN 为水平平行放置的金属导轨,相距 $L=1$ m。P、M 间接有一个电动势 $E=6$ V、内阻 $r=1$ Ω 的电源和一个滑动变阻器。导体棒 ab 跨放在导轨上,棒的质量 $m=0.2$ kg,棒的中点用细绳经定滑轮与一物体相连(绳与棒垂直),物体的质量 $M=0.3$ kg。棒与导轨的动摩擦因数 $\mu=0.5$(设最大静摩擦力与滑动摩擦力相等,导轨与棒的电阻不计,g 取10 m/s^2),匀强磁场的磁感应强度 $B=2$ T,方向竖直向下,为了使物体保持静止,滑动变阻器连入电路的阻值不可能是(　　)

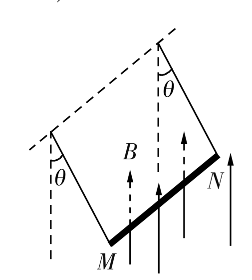


A. 2 Ω　　B. 4 Ω

C. 5 Ω　　D. 6 Ω

【例3】如图所示,金属棒 MN 两端由等长的轻质细线水平悬挂,处于竖直向上的匀强磁场中,金属棒中通以由 M 向 N 的电流,

平衡时两悬线与竖直方向夹角均为 θ。如果仅改变下列某一个条件，θ 角的相应变化情况是(　　)



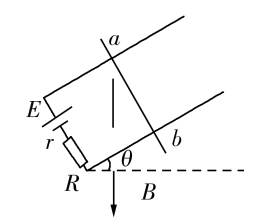
A. 金属棒中的电流变大，θ 角变大

B. 两悬线等长变短，θ 角变小

C. 金属棒质量变大，θ 角变大

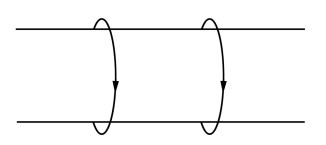
D. 磁感应强度变大，θ 角变小

【例 4】如图所示，光滑的平行导轨倾角为 θ，处在方向竖直向下、磁感应强度为 B 的匀强磁场中，导轨中接入电动势为 E、内阻为 r 的直流电源。电路中有一阻值为 R 的定值电阻，其余电阻不计。将质量为 m、长度为 L 的导体棒 ab 由静止释放，求导体棒 ab 在释放瞬间的加速度大小。



课后训练

1. 两个相同的轻质铝环能在一个光滑的绝缘圆柱体上自由移动，设大小不同的电流按如图所示的方向通入两铝环，则两环的运动情况是(　　)



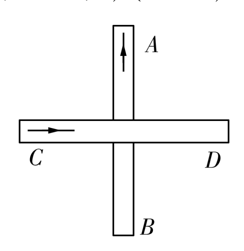
A. 都绕圆柱体转动

B. 彼此相向运动，且具有大小相等的加速度

C. 彼此相向运动，电流大的加速度大

D. 彼此背向运动，电流大的加速度大

2. 如图所示，两条导线相互垂直，但相隔一段距离。其中 AB 固定，CD 能自由活动，当电流按图示方向通入两条导线时，导线 CD 将(从纸外向纸里看)(　　)



A. 顺时针方向转动同时靠近导线 AB

B. 逆时针方向转动同时离开导线 AB

C. 顺时针方向转动同时离开导线 AB

D. 逆时针方向转动同时靠近导线 AB

3. 如图所示，条形磁铁平放于水平桌面上，在它的正中央上方固定一根直导线，导线与磁场垂直，现给导线中通以垂直于纸面向外的电流，下列说法正确的是(　　)

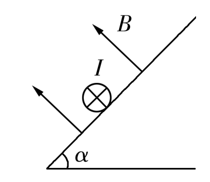
A. 磁铁对桌面的压力减小

B. 磁铁对桌面的压力增大

C. 磁铁对桌面的压力不变

D. 以上说法都不对

4. 如图所示,一根通电的直导体放在倾斜的粗糙斜面上,置于图示方向的匀强磁场中,处于静止状态。现增大电流,导体棒仍静止,则在增大电流的过程中,导体棒受到的摩擦力的大小变化情况可能是(　　)



A. 一直不变
B. 先减小后增大
C. 先增大后减小
D. 始终为零

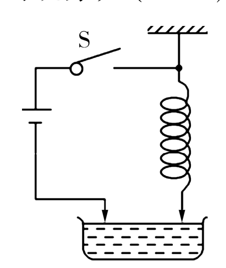
5. 如图所示为一种自动跳闸的闸刀开关,O 是转动轴,A 是绝缘手柄,C 是闸刀卡口,M、N 接电源线,闸刀处于垂直纸面向里、$B=1$ T 的匀强磁场中,CO 间的距离为 10 cm,当磁场力为 0.2 N 时,闸刀开关会自动跳开。则要使闸刀开关能跳开,CO 中通过的电流的大小或电流方向为(　　)




A. 电流方向 $C\to O$

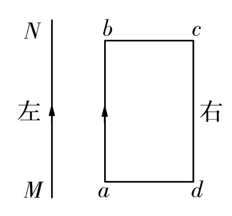
B. 电流方向 $O\to C$
C. 电流大小为 1 A
D. 电流大小为 0.5 A

6. 把一根柔软的螺旋形弹簧竖直悬挂起来,使它的下端刚好跟杯里的水银面相接触,并使它组成如图所示的电路。当开关 S 接通后,将看到的现象是(　　)



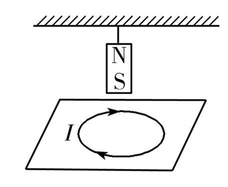
A. 弹簧向上收缩
B. 弹簧被拉长
C. 弹簧上下跳动
D. 弹簧仍静止不动

7. 如图所示通电矩形导线框 $abcd$ 与无限长通电直导线 NM 在同一平面内,电流方向如图所示,ab 边与 NM 平行。关于 MN 的磁场对线框的作用,下列说法正确的是(　　)



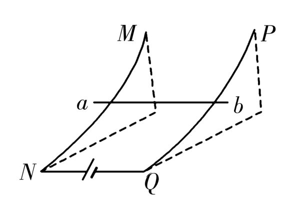
A. 线框四条边所受的安培力方向相同
B. 线框四条边所受的安培力大小相同
C. 线框所受安培力的合力向左
D. 线框所受安培力的合力向右

8. 如图所示,一重为 G_1 的通电圆环置于水平桌面上,圆环中电流方向为顺时针方向(从上往下看),在圆环的正上方用轻绳悬挂一条形磁铁,磁铁的中心轴线通过圆环中心,磁铁的上端为 N 极,下端为 S 极,磁铁自身的重力为 G_2。则关于圆环对桌面的压力 F 和磁铁对轻绳的拉力 F' 的大小,下列关系中正确的是(　　)



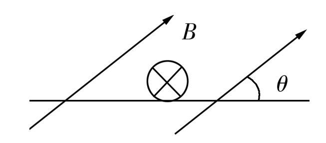
A. $F>G_1, F'>G_2$
B. $F<G_1, F'>G_2$
C. $F<G_1, F'<G_2$
D. $F>G_1, F'<G_2$

9. 如图所示,质量为 m 的导体棒 ab 垂直于圆弧形金属导轨 MN、PQ 放置,导轨下端接有电源,导体棒与导轨接触良好,不计一切摩擦。现欲使导体棒静止在导轨上,下列方法可行的是(　　)



A. 施加一个沿 ab 方向的匀强磁场
B. 施加一个沿 ba 方向的匀强磁场
C. 施加一个竖直向下的匀强磁场
D. 施加一个竖直向上的匀强磁场

10. 如图所示，通电导体棒静止于水平导轨上，棒的质量为 m，长为 l，通过的电流大小为 I 且垂直纸面向里，匀强磁场的磁感应强度 B 的方向与导轨平面成 θ 角，则导体棒受到的(　　)



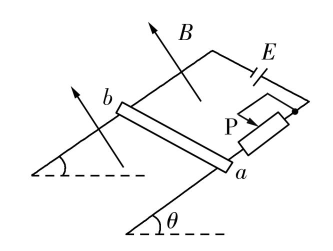
A. 安培力大小为 BIl

B. 安培力大小为 $BIl\sin\theta$

C. 摩擦力大小为 $BIl\cos\theta$

D. 支持力大小为 $mg-BIl\cos\theta$

11. 如图所示，两根间距为 d 的平行光滑金属导轨间接有电源，电动势为 E，导轨平面与水平面间的夹角 $\theta=30°$。金属杆 ab 垂直于导轨放置，导轨与金属杆接触良好，整个装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中。当磁场方向垂直导轨平面向上时，金属杆 ab 刚好处于静止状态。要使金属杆能沿导轨向上运动，可以采取的措施是(　　)



A. 减小磁感应强度 B

B. 将滑动变阻器触头 P 向左移

C. 增大导轨平面与水平面间的夹角 θ

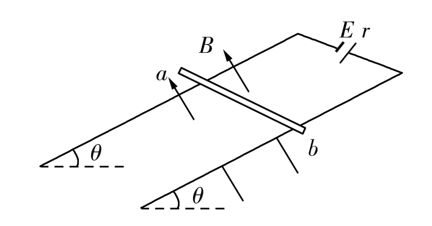
D. 将电源正负极对调使金属杆中的电流方向改变

12. 如图所示，两平行金属导轨间的距离 $L=0.4$ m，金属导轨所在的平面与水平面夹角 $\theta=37°$，在导轨所在平面内，分布着磁感应强度 $B=0.5$ T、方向垂直于导轨所在平面向上的匀强磁场。金属导轨的一端接有电动势 $E=4.5$ V、内阻 $r=0.5$ Ω 的直流电源。现把一个质量 $m=0.04$ kg 的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒恰好静止。导体棒与金属导轨垂直且接触良好，导体棒与金属导轨接触的两点间的电阻 $R_0=2.5$ Ω，金属导轨电阻不计，g 取 10 m/s^2。已知 $\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$，求：

(1)通过导体棒的电流；

(2)导体棒受到的安培力大小；

(3)导体棒受到的摩擦力大小。



1.4.1 磁场对运动电荷的作用力(一)

知识清单

(一)洛伦兹力的方向和大小

1. 洛伦兹力

(1)定义:运动电荷在磁场中受到的力。

(2)与安培力的关系:通电导线在磁场中所受的安培力是洛伦兹力的宏观表现,而洛伦兹力是安培力的微观本质。

2. 洛伦兹力的方向

(1)左手定则:伸开左手,使拇指与其余四个手指垂直,并且都与手掌在同一个平面内;让磁感线从掌心进入,并使四指指向正电荷运动的方向,这时拇指所指的方向就是运动的正电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向。负电荷受力的方向与正电荷受力的方向相反。

(2)特点:$F\perp B$,$F\perp v$,即 F 垂直于 B 和 v 决定的平面。

3. 洛伦兹力的大小

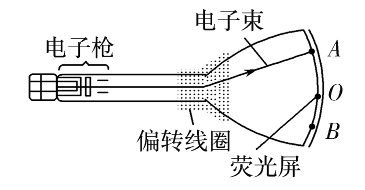
(1)当 $v\perp B$ 时,$F=qvB$。

(2)当 $v/\!/B$ 时,$F=0$。

(3)当 v 与 B 成 θ 角时,$F=qvB\sin\theta$。

(二)电视显像管的工作原理

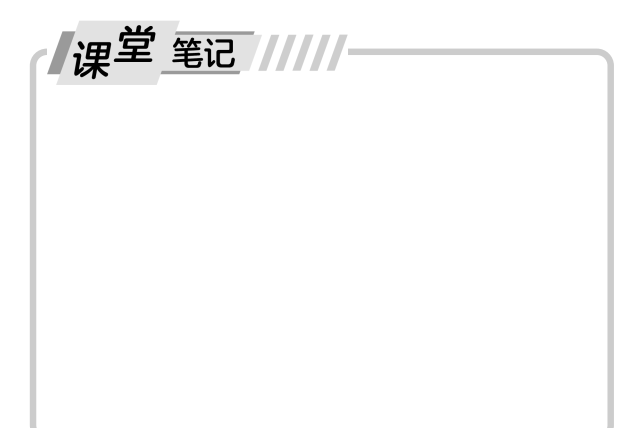
1. 构造:如图所示,电视显像管由电子枪、偏转线圈和荧光屏组成。



2. 原理:电视显像管应用了电子束磁偏转的原理。

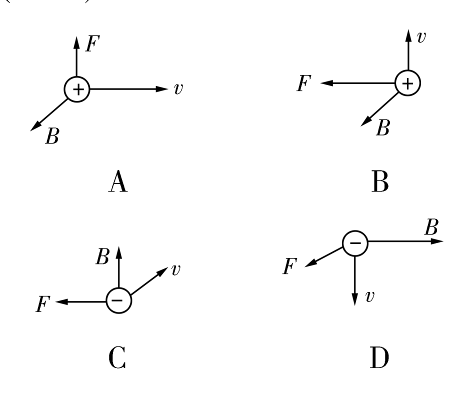
3. 扫描:在偏转区的水平方向和竖直方向都有偏转磁场,其方向、强弱都在不断变化,使得电子束打在荧光屏上的光点不断移动。

课堂笔记



典型例题

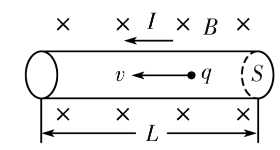
【例1】下列所示的磁感应强度 B、电荷的运动速度 v 和磁场对电荷的作用力 F 的相互关系图中,正确的是(其中 B、F、v 两两垂直)(　　)



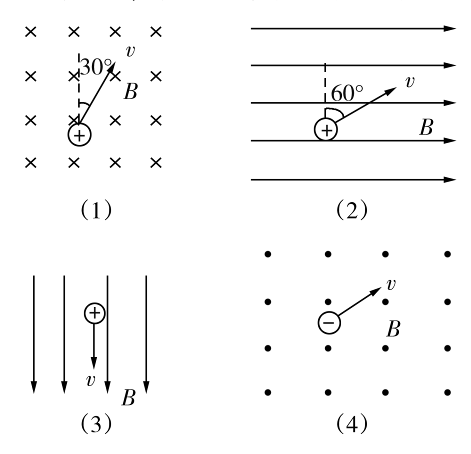
【例2】如图所示,磁场的磁感应强度为 B。设磁场中有一段长度为 L 的通电导线,横截面积为 S,单位体积中含有的自由电荷数为 n,每个自由电荷的电荷量为 q 且定向移动的速率都是 v。

(1)导线中的电流是多少？导线在磁场中所受的安培力是多大？

(2)长为 L 的导线中含有的自由电荷数是多少？每个自由电荷所受的洛伦兹力是多大？



【例3】下列各图中的匀强磁场的磁感应强度均为 B,带电粒子的速率均为 v,电荷量均为 q。试求出下列图中带电粒子所受洛伦兹力的大小,并指出洛伦兹力的方向。



【例4】下列关于电荷所受电场力和洛伦兹力的说法正确的是(　　)

A. 电荷在磁场中一定受洛伦兹力作用

B. 电荷在电场中一定受电场力作用

C. 电荷所受电场力一定与该处电场方向一致

D. 电荷所受的洛伦兹力不一定与磁场方向垂直

课后训练

1. 下列关于洛伦兹力的说法中,正确的是(　　)

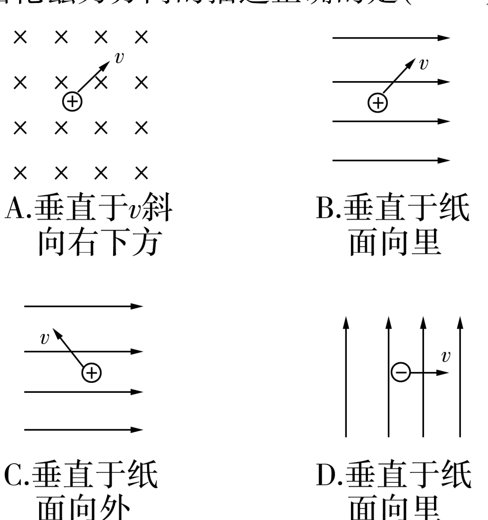
   A. 只要速度大小相同,所受洛伦兹力就相同

   B. 如果把 $+q$ 改为 $-q$,且速度反向,大小不变,则洛伦兹力的大小、方向均不变

   C. 洛伦兹力方向一定与电荷速度方向垂直,磁场方向一定与电荷运动方向垂直

   D. 在只受到洛伦兹力作用下,粒子运动的动能、速度均不变

2. (多选)如图所示的四种情况,对各粒子所受洛伦兹力方向的描述正确的是(　　)



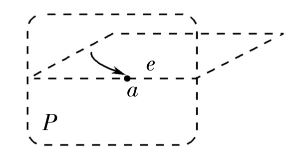
3. 每时每刻都有大量宇宙射线向地球射来,地磁场可以改变射线中大多数带电粒子的运动方向,使它们不能到达地面,这对地球上的生物有十分重要的意义。假设有一个带正电的宇宙射线粒子正垂直于地面向赤

道射来,在地磁场的作用下,它将(　　)

A. 向东偏转　　B. 向南偏转

C. 向西偏转　　D. 向北偏转

4. 如图所示,a 是竖直平面 P 上的一点,P 前有一条形磁铁垂直于 P,且 S 极朝向 a 点,P 后一电子在偏转线圈和条形磁铁的磁场的共同作用下,在水平面内向右弯曲经过 a 点。在电子经过 a 点的瞬间,条形磁铁的磁场对该电子的作用力的方向(　　)



A. 向上　　B. 向下

C. 向左　　D. 向右

5. 一个带电粒子在磁场中运动,某时刻速度方向如图,它受到的重力和洛伦兹力的合力的方向恰好与速度方向相反。不计阻力,接下去的一小段时间内,带电粒子(　　)

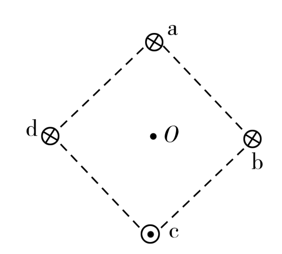
A. 可能作圆周运动

B. 可能作匀变速运动

C. 轨迹可能是直线

D. 机械能守恒

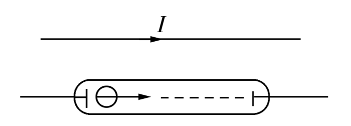
6. 图中 a、b、c、d 为四根与纸面垂直的长直导线,其横截面位于正方形的四个顶点上,导线中通有大小相同的电流,方向如图所示。一带正电的粒子从正方形中心 O 点沿垂直于纸面的方向向外运动,它所受的洛伦兹力的方向是(　　)



A. 向上　　B. 向下

C. 向左　　D. 向右

7. 在阴极射线管中电子流方向由左向右,其上方放置一根通有如图所示电流的直导线,导线与阴极射线管平行,则电子将(　　)



A. 向上偏转　　B. 向下偏转

C. 向纸里偏转　　D. 向纸外偏转

8. (多选)用细线悬挂一个质量为 m,带正电的小球,置于如图所示的匀强磁场中,当小球偏离竖直方向在垂直于磁场方向摆动时,如果细线始终绷紧,不计空气阻力,则前后两次通过最低点时相比较,相同的物理量是(　　)

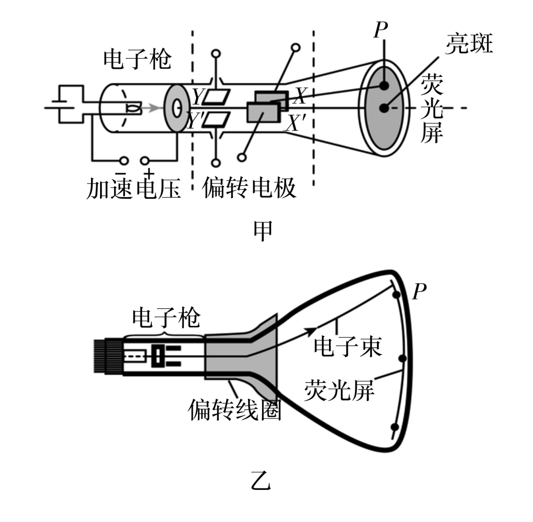
A. 小球受到的洛伦兹力

B. 小球的加速度

C. 悬线的拉力

D. 小球的动能

9. 图甲是示波器的结构示意图,图乙是电视机显像管的结构示意图。二者相同的部分是电子枪(给电子加速形成电子束)和荧光屏(电子打在上面形成亮斑)。不同的是使电子束发生偏转的部分,示波器是利用电场使电子偏转(偏转电极),显像管是利用磁场使电子偏转(偏转线圈)。关于电子束从电子枪射出后到打在荧光屏上 P 点的过程中,下列说法正确的是(　　)



甲

乙

A. 图甲中电子通过偏转电极速度发生了变化,图乙中电子通过偏转线圈速度没有变化

B. 电子在通过两种装置的过程中运动轨迹是完全相同的

C. 打在荧光屏上的电子,图甲中电子动能发生了变化,图乙中电子的动能没有变化

D. 图甲中电子在偏转电极间做匀速圆周运动,图乙中电子通过偏转线圈做类平抛运动

1.4.2　磁场对运动电荷的作用力(二)

知识清单

带电体在磁场中的运动

当带电体在磁场中运动时,会受到洛伦兹力作用,解题时需考虑:

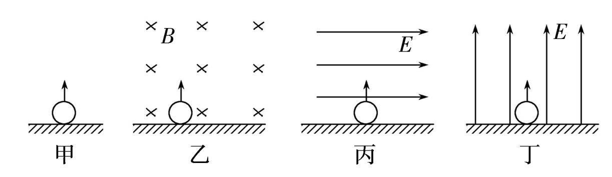
(1)洛伦兹力不做功。洛伦兹力的方向始终与速度垂直,所以这个力不会直接改变物体的速度大小,因此在应用动能定理解题时,不用考虑洛伦兹力做功。

(2)洛伦兹力虽然不会直接改变物体的速度,但会影响物体所受的压力(支持力),从而改变物体所受的摩擦力,此时须考虑物体速度大小的改变,此时摩擦力是一个与物体速度有关的变力。

课堂笔记

典型例题

【例1】(多选)带电小球以一定的初速度 v_0 竖直向上抛出,能够达到的最大高度为 h_1;若加上水平方向的匀强磁场,且保持初速度仍为 v_0,小球上升的最大高度为 h_2,若加上水平方向的匀强电场,且保持初速度仍为 v_0,小球上升的最大高度为 h_3;若加上竖直向上的匀强电场,且保持初速度仍为 v_0,小球上升的最大高度为 h_4。如图所示,不计空气阻力,则(　　)



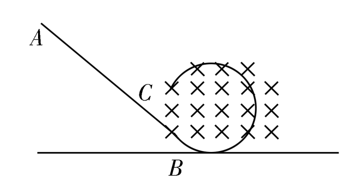
A. 一定有 $h_1 = h_3$

B. 一定有 $h_1 < h_4$

C. h_2 与 h_4 无法比较

D. h_1 与 h_2 无法比较

【例2】(多选)如图所示,ABC 为竖直平面内的光滑绝缘轨道,其中 AB 为倾斜直轨道,BC 为与 AB 相切的圆形轨道,并且圆形轨道处在匀强磁场中,磁场方向垂直纸面向里。质量相同的甲、乙、丙三个小球中,甲球带正电,乙球带负电,丙球不带电。现将三个小球在轨道 AB 上分别从不同高度处由静止释放,都恰好通过圆形轨道的最高点,则(　　)



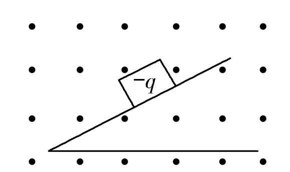
A. 经过最高点时,三个小球的速度相等

B. 经过最高点时,甲球的速度最小

C. 甲球的释放位置比乙球的高

D. 运动过程中三个小球的机械能均保持不变

【例 3】如图所示,一个带负电的物体从绝缘粗糙斜面顶端滑到底端时的速度为 v,若加上一个垂直纸面向外的匀强磁场,则物体滑到底端时(　　)



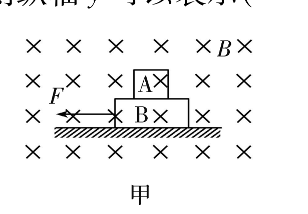
A. v 变大

B. v 变小

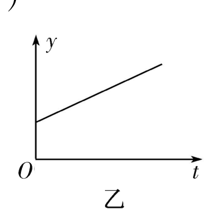
C. v 不变

D. 不能确定 v 的变化

【例 4】如图甲所示为足够大的空间内存在水平方向的匀强磁场,在磁场中 A、B 两物块叠在一起置于光滑水平面上,物块 A 带正电,物块 B 不带电且表面绝缘,A、B 接触面粗糙。自 $t=0$ 时刻起用水平恒力 F 作用在物块 B 上,两物块由静止开始做匀加速直线运动。乙图图像的横轴表示时间,则纵轴 y 可以表示(　　)



甲



乙

A. A 所受洛伦兹力大小

B. B 对地面压力的大小

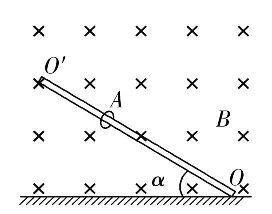
C. A 物块加速度大小

D. A 对 B 摩擦力的大小

【例 5】如图所示,在磁感应强度为 B 的水平匀强磁场中,有一足够长的绝缘细棒 OO'。在竖直面内磁场方向垂直纸面向里。细棒与水平面间的夹角为 α,一质量为 m,带电荷量为 $+q$ 的圆环 A 套在 OO' 棒上,圆环与棒间的动摩擦因数为 μ,且 $\mu<\tan\alpha$,重力加速度为 g。现让圆环 A 由静止开始下滑,试问圆环在下滑过程中:

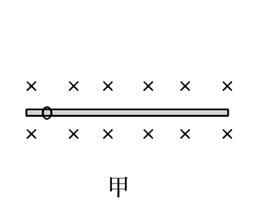
(1)圆环 A 的最大加速度为多大?获得最大加速度时的速度为多大?

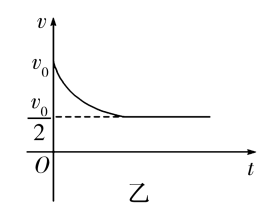
(2)圆环 A 能够达到的最大速度为多大?



课后训练

1. 如图甲所示,一个质量为 m、电荷量为 q 的圆环可在水平放置的足够长的粗糙绝缘细杆上滑动,细杆处于匀强磁场中,不计空气阻力,现给圆环向右的初速度 v_0,在以后运动过程中的速度-时间图像如图乙所示。则关于圆环所带的电性,匀强磁场的磁感应强度 B,下列说法正确的是(重力加速度为 g)(　　)


甲



乙

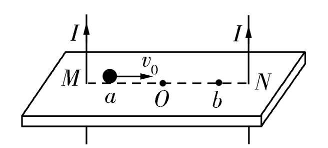
A. 圆环带负电,$B=\frac{mg}{qv_0}$

B. 圆环带正电,$B=\frac{2mg}{qv_0}$

C. 圆环带负电，$B=\dfrac{2mg}{qv_0}$

D. 圆环带正电，$B=\dfrac{mg}{qv_0}$

2.（多选）如图所示，两根长直导线竖直插入光滑绝缘水平桌面上的 M、N 两小孔中，O 为 M、N 连线的中点，连线上 a、b 两点关于 O 点对称。导线均通有大小相等、方向向上的电流。已知长直导线在周围某点处产生的磁场的磁感应强度 $B=k\dfrac{I}{r}$，式中 k 是常数、I 是导线中的电流、r 为该点到导线的距离。一带正电的小球以初速度 v_0 从 a 点出发沿连线运动到 b 点。关于上述过程，下列说法正确的是（　　）



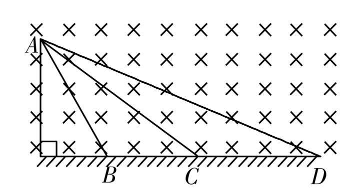
A. 小球先做加速运动，后做减速运动

B. 小球一直做匀速直线运动

C. 小球对桌面的压力先减小后增大

D. 小球对桌面的压力一直在增大

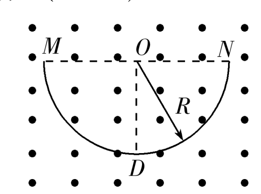
3. 如图所示，斜面顶端在同一高度的三个光滑斜面 AB、AC、AD 均处于水平方向的匀强磁场中。一个带负电的绝缘物块，分别从三个斜面顶端 A 点由静止释放，设滑到底端的时间分别为 t_{AB}、t_{AC}、t_{AD}，则（　　）



A. $t_{AB}=t_{AC}=t_{AD}$　　B. $t_{AB}>t_{AC}>t_{AD}$

C. $t_{AB}<t_{AC}<t_{AD}$　　D. 无法比较

4.（多选）如图所示，MDN 为绝缘材料制成的固定的竖直光滑半圆形轨道，半径为 R，直径 MN 水平，整个空间存在方向垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B，一带电荷量为 $-q$，质量为 m 的小球自 M 点无初速度下滑。小球沿轨道运动过程中，下列说法正确的是（　　）



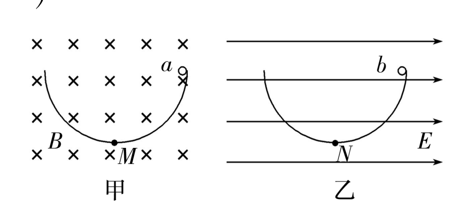
A. 小球由 M 点滑到最低点 D 时所用时间与磁场无关

B. 小球滑到 D 点时，对轨道的压力一定大于 mg

C. 小球滑到 D 点时，速度大小 $v=\sqrt{2gR}$

D. 小球滑到轨道右侧时，可以到达轨道最高点 N

5. 如图所示，甲、乙是竖直面内两个相同的半圆形光滑轨道，M、N 为两轨道的最低点，匀强磁场垂直于甲轨道平面，匀强电场平行于占乙轨道最低点相切的平面。两个完全相同的带正电小球 a、b 分别从甲、乙两轨道的右侧最高点由静止释放，在它们第一次到达最低点的过程中，下列说法正确的是（　　）



A. a 球下滑的时间比 b 球下滑时间长

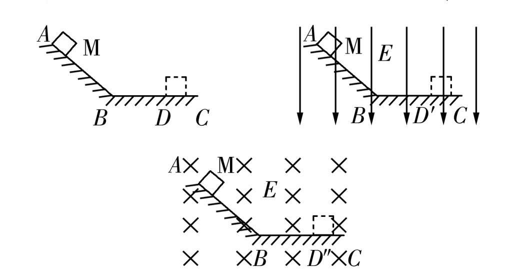
B. a、b 两球的机械能均不守恒

C. a 球到 M 点的速度小于 b 球到 N 点的速度

D. a 球对 M 点的压力大于 b 球对 N 点的压力

6.（多选）如图所示，一个带正电荷的物块 M，由静止开始从斜面上 A 点下滑，滑到水平面 BC 上的 D 点停下来。已知物块与斜面及水平面间的动摩擦因数相同，且不计物块经过 B 处时的机械能损失。先在 ABC

所在空间加竖直向下的匀强电场,第二次让物块M从A点由静止开始下滑,结果物块在水平面上的D'点停下来。后又撤去电场,在ABC所在空间加水平向里的匀强磁场,再次让物块M从A点由静止开始下滑,结果物块沿斜面滑下并在水平面上的D''点停下来。下列说法中正确的是(　　)



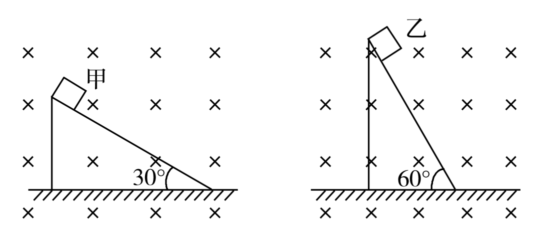
A. D'点一定与D点重合

B. D'点一定在D点左侧

C. D''点一定与D点重合

D. D''点一定在D点右侧

7.(多选)如图所示,两个倾角分别为30°和60°的光滑绝缘斜面固定于水平地面上,并处于方向垂直纸面向里、磁感应强度为B的匀强磁场中,两个质量为m,带电荷量为$+q$的小滑块甲和乙分别从两个斜面顶端由静止释放,运动一段时间后,两小滑块都将飞离斜面,在此过程中(　　)



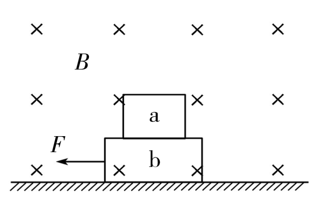
A. 甲滑块飞离斜面瞬间的速度比乙滑块飞离斜面瞬间的速度大

B. 甲滑块在斜面上运动的时间比乙滑块在斜面上运动的时间短

C. 两滑块在斜面上运动的位移大小相同

D. 两滑块在斜面上运动的过程中,重力的平均功率相等

8. 如图所示,a为带正电的小物块,b是一不带电的绝缘物块(设a、b间无电荷转移),a、b叠放于粗糙的水平地面上,地面上方有垂直于纸面向里的匀强磁场。现用水平恒力F拉b物块,使a、b一起无相对滑动地向左做加速运动,则在加速运动阶段(　　)



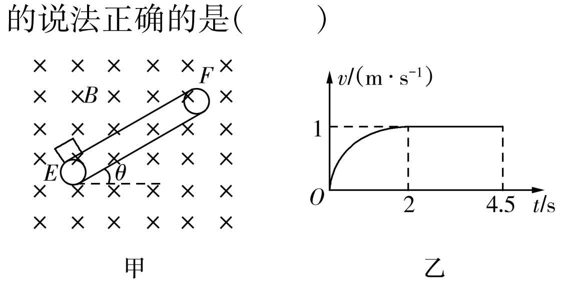
A. a对b的压力不变

B. a对b的压力变大

C. a、b物块间的摩擦力变大

D. a、b物块间的摩擦力不变

9.(多选)如图甲所示,一带电物块无初速度地放在传送带轮底端,传送带轮以恒定大小的速率沿顺时针传动。该装置处于垂直纸面向里的匀强磁场中,物块由底端E运动至传送带轮顶端F的过程中,其$v-t$图像如图乙所示,物块全程运动的时间为4.5 s。下列关于带电物块及其运动过程的说法正确的是(　　)



甲　　　　乙

A. 该物块带负电

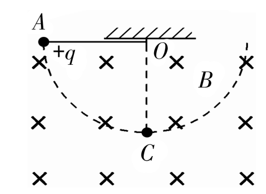
B. 传送带的传动速度大小可能大于1 m/s

C. 若已知传送带的长度,可求出该过程中物块与传送带发生的相对位移

D. 在2~4.5 s内,物块与传送带仍可能有相对运动

10. 质量为m、带电荷量为$+q$的小球,用一长为l的绝缘细线悬挂在方向垂直纸面向里的匀强磁场中,磁感应强度为B,如图所示,现使小球位于能使悬线呈水平的位置A。然后由静止释放,小球运动的平

面与磁场的方向垂直，小球第一次和第二次经过最低点 C 时悬线的拉力 F_{T1} 和 F_{T2} 分别为多大？（重力加速度为 g）

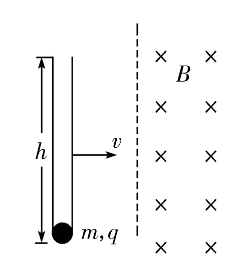


11. 如图，下端封闭，上端开口，高 $h=5$ m，内壁光滑的细玻璃管竖直放置，管底有一质量 $m=10$ g、电荷量 $q=0.2$ C 的小球，整个装置以 $v=5$ m/s 的速度沿垂直于磁场方向进入 $B=0.2$ T、方向垂直纸面向里的匀强磁场，由于外力的作用，玻璃管在磁场中的速度保持不变，最终小球从上端管口飞出。取 $g=10$ m/s^2。求：

(1)小球的带电性；

(2)小球在管中运动的时间；

(3)小球在管内运动过程中增加的机械能。



1.5　带电粒子在匀强磁场中的运动

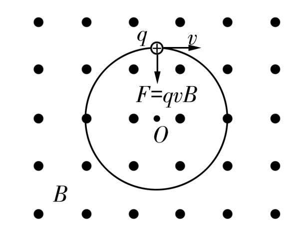
知识清单

（一）带电粒子在匀强磁场中的运动

带电粒子（不计重力）以一定的速度 v 进入磁感应强度为 B 的匀强磁场时：

(1)当 $v /\!/ B$ 时，带电粒子做匀速直线运动。

(2)当 $v \perp B$ 时，带电粒子做匀速圆周运动。



（二）带电粒子在匀强磁场中做圆周运动

1. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动时

$F_{洛}=F_{向}=qvB=\dfrac{mv^2}{r}$。

2. 带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期：

(1)半径：$r=\dfrac{mv}{qB}$　(2)周期：$T=\dfrac{2\pi m}{qB}$

3. 解决带电粒子在磁场中的圆周运动问题

(1)确定圆心

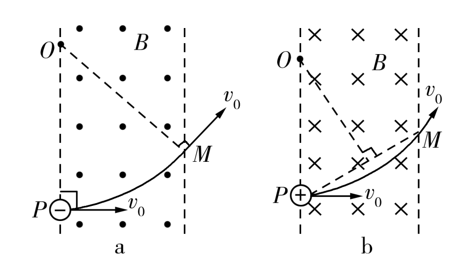
①圆心一定在垂直于速度的直线上。

已知入射点、出射点、入射方向和出射方

向，通过入射点和出射点分别作垂直于入射方向和出射方向的直线，两条直线的交点就是圆弧轨道的圆心（如图 a 所示，图中 P 为入射点，M 为出射点）。

②圆心一定在弦的中垂线上。

已知入射方向、入射点和出射点的位置时，先通过入射点作入射方向的垂线，再连接入射点和出射点，作其中垂线，这两条垂线的交点就是圆弧轨道的圆心（如图 b 所示，图中 P 为入射点，M 为出射点）。



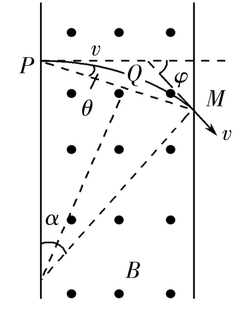
（2）确定半径

①由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$，得 $r=\frac{mv}{qB}$。

②由轨迹和约束边界间的几何关系（勾股定理、三角函数等）求半径 r。

（3）确定运动时间

粒子在磁场中做圆周运动周期为 T，当粒子运动的圆弧所对应的圆心角为 α 时，其运动时间表示为 $t=\frac{\alpha}{360°}T$ 或 $t=\frac{\alpha}{2\pi}T$。



（4）圆心角、偏向角、弦切角之间的关系

①带电粒子射出磁场的速度方向与射入磁场的速度方向之间的夹角 φ 叫作偏向角，偏向角等于圆弧 $\overset{\frown}{PM}$ 对应的圆心角 α，即 $\alpha=\varphi$。

②圆弧 $\overset{\frown}{PM}$ 所对应圆心角 α 等于弦 PM 与切线的夹角（弦切角）θ 的 2 倍，即 $\alpha=2\theta$。

课堂笔记

典型例题

【例 1】（多选）质子和 α 粒子由静止出发经过同一加速电场加速后，沿垂直磁感线方向进入同一匀强磁场，则它们在磁场中的各运动量间的关系正确的是（　　）

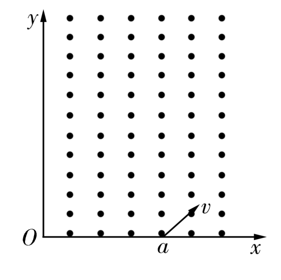
A. 速度之比为 $\sqrt{2}:1$

B. 周期之比为 1∶2

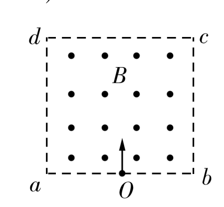
C. 半径之比为 1∶2

D. 角速度之比为 1∶1

【例 2】如图所示，一个质量为 m、电荷量为 q（$q<0$）的带电粒子从 x 轴上的 $P(a,0)$ 点以速度 v，沿与 x 轴正方向成 60°角的方向射入第一象限内的匀强磁场中，并恰好垂直于 y 轴射出第一象限。求匀强磁场的磁感应强度 B 和射出点的坐标。



【例 3】如图,边长为 l 的正方形 $abcd$ 内存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B,方向垂直于纸面($abcd$ 所在平面)向外。ab 边中点有一电子发射源 O,可向磁场内沿垂直于 ab 边的方向发射电子。已知电子的比荷为 k,则从 a、d 两点射出的电子的速度大小分别为(　　)



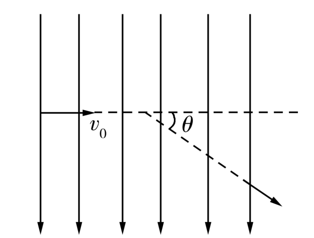
A. $\frac{1}{4}kBl,\frac{\sqrt{5}}{4}kBl$　　B. $\frac{1}{4}kBl,\frac{5}{4}kBl$

C. $\frac{1}{2}kBl,\frac{\sqrt{5}}{4}kBl$　　D. $\frac{1}{2}kBl,\frac{5}{4}kBl$

【例 4】在如图所示宽度范围内,用场强为 E 的匀强电场可使初速度是 v_0 的某种正粒子偏转 θ 角。在同样宽度范围内,若改用方向垂直于纸面向外的匀强磁场(图中未画出),让该粒子穿过该区域,并使偏转角也为 θ(不计粒子的重力),求:

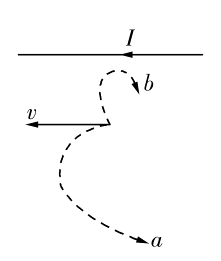
(1)匀强磁场的磁感应强度;

(2)粒子穿过电场和磁场的时间之比。



课后训练

1. 如图所示,水平导线中有电流 I 通过,导线正下方的电子初速度的方向与电流 I 的方向相同,则电子将(　　)



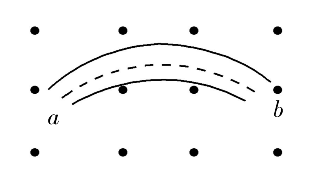
A. 沿路径 a 运动,轨迹是圆

B. 沿路径 a 运动,轨迹半径越来越大

C. 沿路径 a 运动,轨迹半径越来越小

D. 沿路径 b 运动,轨迹半径越来越小

2. 如图所示,ab 是一弯管,其中心线是半径为 R 的一段圆弧,将它置于一给定的匀强磁场中,磁场方向垂直于圆弧所在平面,并且指向纸外。有一束粒子对准 a 端射入弯管,粒子有不同的质量、不同的速度,但都是一价正离子,则(　　)



A. 只有速度 v 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

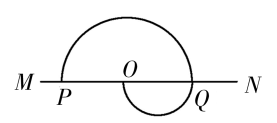
B. 只有质量 m 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

C. 只有动量 P 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

D. 只有动能 E_K 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

3. 如图所示,MN 为铝质薄平板,铝板上方和下方分别有垂直于纸面的匀强磁场(未画出)。一带电粒子从紧贴铝板上表面的 P 点垂直于铝板向上射出,从 Q 点穿越铝板后到达 PQ 的中点 O。已知粒子穿越铝板

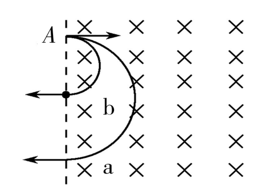
时,其动能损失一半,速度方向和电荷量不变,不计重力。铝板上方和下方的磁感应强度大小之比为(　　)



A. 1∶2　　B. 2∶1

C. $\sqrt{2}$∶2　　D. $\sqrt{2}$∶1

4. 如图所示,a 和 b 两粒子带电荷量相同,以相同动能从 A 点射入磁场(重力不计),在匀强磁场中做圆周运动的半径 $r_a=2r_b$,则可知(　　)



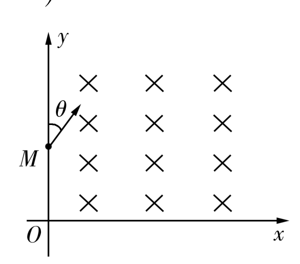
A. 两粒子都带正电,质量比$\frac{m_a}{m_b}=4$

B. 两粒子都带负电,质量比$\frac{m_a}{m_b}=4$

C. 两粒子都带正电,质量比$\frac{m_a}{m_b}=\frac{1}{4}$

D. 两粒子都带负电,质量比$\frac{m_a}{m_b}=\frac{1}{4}$

5. (多选)如图所示,在 xOy 平面的第一象限内存在方向垂直纸面向里,磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一带电粒子从 y 轴上的 M 点射入磁场,速度方向与 y 轴正方向的夹角 $\theta=45°$。粒子经过磁场偏转后在 N 点(图中未画出)垂直穿过 x 轴。已知 $OM=a$,粒子电荷量为 q,质量为 m,重力不计。则(　　)



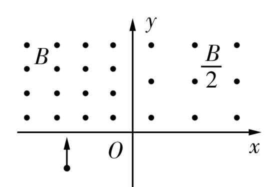
A. 粒子带负电荷

B. 粒子速度大小为$\frac{qBa}{m}$

C. 粒子在磁场中运动的轨道半径为 a

D. N 点与 O 点相距$(\sqrt{2}+1)a$

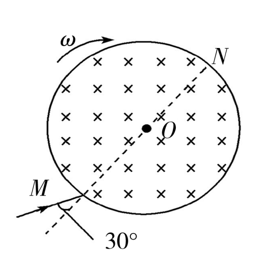
6. 如图,在坐标系的第一和第二象限内存在磁感应强度大小分别为$\frac{1}{2}B$ 和 B,方向均垂直于纸面向外的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$的粒子垂直于 x 轴射入第二象限,随后垂直于 y 轴进入第一象限,最后经过 x 轴离开第一象限。粒子在磁场中运动的时间为(　　)



A. $\frac{5\pi m}{6qB}$　　B. $\frac{7\pi m}{6qB}$

C. $\frac{11\pi m}{6qB}$　　D. $\frac{13\pi m}{6qB}$

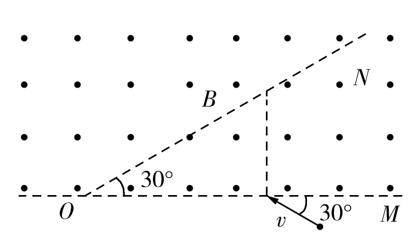
7. 一圆筒处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中,磁场方向与筒的轴平行,筒的横截面如图所示。图中直径 MN 的两端分别开有小孔,筒绕其中心轴以角速度 ω 顺时针转动。在该截面内,一带电粒子从小孔 M 射入筒内,射入时的运动方向与 MN 成 30°角。当筒转过 90°时,该粒子恰好从小孔 N 飞出圆筒。不计重力。若粒子在筒内未与筒壁发生碰撞,则带电粒子的比荷为(　　)



A. $\frac{\omega}{3B}$　　B. $\frac{\omega}{2B}$

C. $\frac{\omega}{B}$　　D. $\frac{2\omega}{B}$

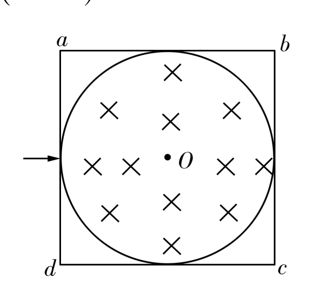
8. 平面 OM 和平面 ON 之间的夹角为30°,其横截面(纸面)如图所示,平面 OM 上方存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B,方向垂直于纸面向外。一带电粒子的质量为 m,电荷量为 $q(q>0)$。粒子沿纸面以大小为 v 的速度从 OM 的某点向左上方射入磁场,速度与 OM 成30°角。已知该粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点,并从 OM 上另一点射出磁场。不计重力,粒子离开磁场的出射点到两平面交线 O 的距离为(　　)



A. $\frac{mv}{2qB}$　　B. $\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$

C. $\frac{2mv}{qB}$　　D. $\frac{4mv}{qB}$

9. (多选)如图所示,半径为 r 的圆刚好与正方形 $abcd$ 的四个边相切,在圆形区域内有方向垂直纸面向里的匀强磁场,一带负电粒子从 ad 边的中点以某一初速度沿纸面且垂直 ad 边射入磁场,一段时间后粒子从圆形磁场区域飞出并恰好通过正方形的 d 点。设该粒子在磁场中运动的轨道半径为 R,运动时间为 t,若粒子在磁场中做圆周运动的周期为 T,粒子重力不计,下列关系正确的是(　　)



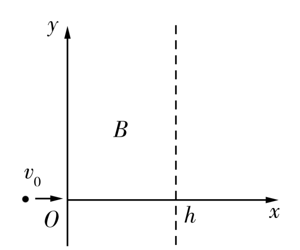
A. $R=\sqrt{2}r$　　B. $R=(\sqrt{2}-1)r$

C. $t=\frac{1}{8}T$　　D. $t=\frac{3}{8}T$

10. 如图,在 $0\leqslant x\leqslant h$, $-\infty<y<+\infty$ 区域中存在方向垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度 B 的大小可调,方向不变。一质量为 m,电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子以速度 v_0 从磁场区域左侧沿 x 轴进入磁场,不计重力。

(1)若粒子经磁场偏转后穿过 y 轴正半轴离开磁场,分析说明磁场的方向,并求在这种情况下磁感应强度的最小值 B_m;

(2)如果磁感应强度大小为 $\frac{B_m}{2}$,粒子将通过虚线所示边界上的一点离开磁场。求粒子在该点的运动方向与 x 轴正方向的夹角及该点到 x 轴的距离。



1.6.1 质谱仪和回旋加速度器

知识清单

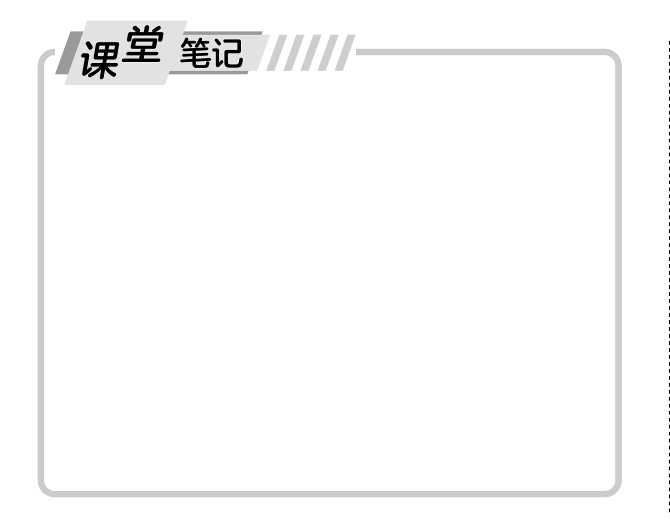
(一)质谱仪

装置	原理图	规律
质谱仪		带电粒子进入质谱仪的加速电场 $qU=\frac{1}{2}mv^2$ 在磁场中做匀速圆周运动 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 比荷 $\frac{q}{m}=\frac{2U}{B^2r^2}$

(二)回旋加速器

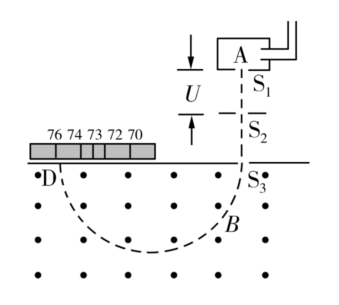
装置	原理图	规律
回旋加速器		高频交流电源的周期与带电粒子在D形盒中的运动周期相同,粒子每经过一次加速,其轨道半径就大一些,但粒子做圆周运动的周期不变。 由 $qvB=m\frac{v^2}{R}$ 和 $E_K=\frac{1}{2}mv^2$ 得 $E_K=\frac{q^2B^2R^2}{2m}$ (R 为D形盒的半径),即粒子在回旋加速器中获得的最大动能与 q、m、B、R 有关,与加速电压无关。

课堂笔记

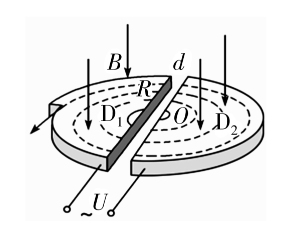


典型例题

【例1】如图所示为质谱仪原理示意图。设粒子质量为 m、电荷量为 q,加速电场电压为 U,偏转磁场的磁感应强度为 B,粒子从容器A下方的小孔 S_1 飘入加速电场,其初速度几乎为0。则粒子进入磁场时的速度为多大?打在底片上的位置到 S_3 的距离为多大?



【例 2】(多选) 1930 年美国物理学家 Lawrence 提出回旋加速器的理论,1932 年首次研制成功。如图所示为两个半径为 R 的中空半圆金属盒 D_1、D_2 置于真空中,金属盒 D_1、D_2 间接有电压为 U 的交流电为粒子加速,金属盒 D_1 圆心 O 处粒子源产生的粒子初速度为零。匀强磁场垂直两盒面,磁感应强度大小为 B,粒子运动过程不考虑相对论效应和重力的影响,忽略粒子在两金属盒之间运动的时间,下列说法正确的是(　　)



A. 交流电的周期和粒子在磁场中运动的周期相同

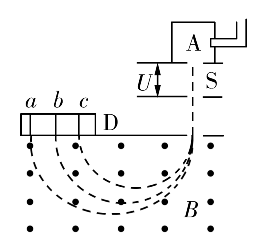
B. 加速电压 U 越大,粒子最终射出 D 形盒时的动能就越大

C. 粒子最终射出 D 形盒时的动能与加速电压 U 无关

D. 粒子第一次加速后和第二次加速后的速度大小之比是 $1:\sqrt{2}$

课后训练

1. 质谱仪是测量带电粒子的质量和分析同位素的重要工具。如图所示为质谱仪的原理示意图,现利用质谱仪对氢元素进行测量,让氢元素三种同位素的离子流从 A 下方的小孔 S 无初速度飘入电势差为 U 的加速电场,加速后垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,氢的三种同位素最后打在底片 D 上,形成 a、b、c 三条“质谱线”,则下列说法正确的是(　　)



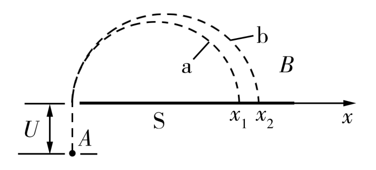
A. 进入磁场时速度从大到小排列的顺序是氚、氘、氕

B. 进入磁场时动能从大到小排列的顺序是氕、氘、氚

C. 在磁场中运动时间由大到小排列的顺序是氕、氘、氚

D. a、b、c 三条“质谱线”依次排列的顺序是氚、氘、氕

2. 如图所示是质谱仪工作原理的示意图,带电粒子 a、b 经电压 U 加速(在 A 点初速度为 0)后,进入磁感应强度为 B 的匀强磁场做匀速圆周运动,最后分别打在感光板 S 上的 x_1、x_2 处。图中半圆形的虚线分别表示带电粒子 a、b 所通过的路径,则(　　)



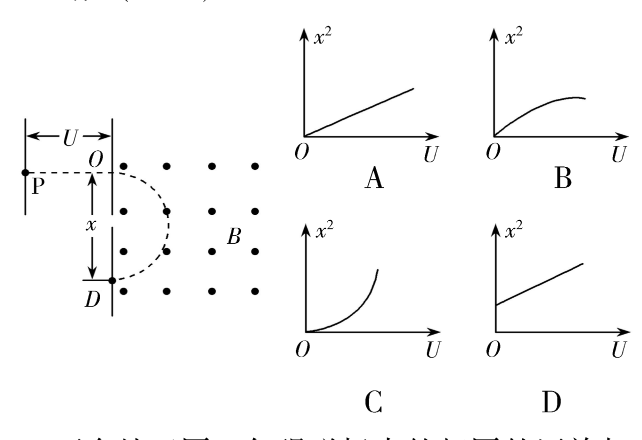
A. a 的质量一定大于 b 的质量

B. a 的电荷量一定大于 b 的电荷量

C. a 运动的时间大于 b 运动的时间

D. a 的比荷大于 b 的比荷

3. 1922 年,英国科学家阿斯顿因质谱仪的发明、同位素和质谱的研究荣获了诺贝尔化学奖。质谱仪的两大重要组成部分是加速电场和偏转磁场。如图所示为质谱仪的原理图,设想有一个静止的带电粒子 P(不计重力),经电压为 U 的加速电场加速后,垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,最后打到底片上的 D 点。设 $OD=x$,则在下列图中能正确反映 x^2 与 U 之间函数关系的是(　　)



4. 两个处于同一匀强磁场中的相同的回旋加速器,分别接在加速电压 U_1 和 U_2 的高频电源上,且 $U_1>U_2$。两个相同的带电粒子分别从这两个加速器的中心由静止开始运动,设两个粒子在加速器中的运动的时间分别为 t_1 和 t_2(在盒缝间加速时间忽略不计),获得的最大动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2},则(　　)

A. $t_1<t_2,E_{k1}>E_{k2}$

B. $t_1=t_2,E_{k1}<E_{k2}$

C. $t_1<t_2,E_{k1}=E_{k2}$

D. $t_1>t_2,E_{k1}=E_{k2}$

5. (多选)回旋加速器 D 形盒的半径为 R,所加磁场的磁感应强度为 B,加速电压为 U,用来加速质量为 m、电荷量为 q 的质子(^1_1H),质子从质子源由静止出发,经加速、回旋后射出,下列说法正确的是(　　)

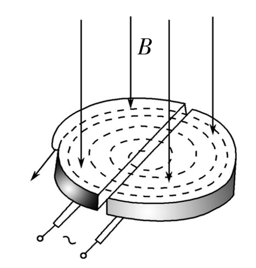
A. 回旋加速器加速完质子,在不改变所加交变电压和磁场的情况下,不可以直接对氦核(^4_2He)进行加速

B. 只增大交变电压 U,质子在加速器中获得的最大动能将变大

C. 回旋加速器所加交变电压的频率为$\frac{Bq}{2\pi m}$

D. 加速器可以对质子进行无限加速

6. 1932 年科学家劳伦斯制成了世界上第一台回旋加速器,其原理如图所示,核心部分为两个铜质 D 形盒,其间留有空隙,将其置于匀强磁场中,两盒分别与高频交流电源相连,下列说法正确的是(　　)



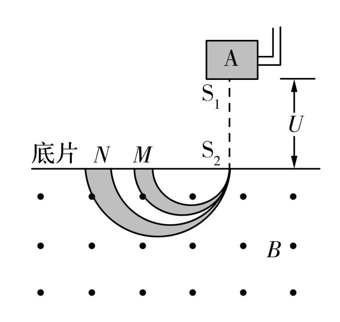
A. 粒子被加速后的最大动能随加速电场电压的增大而增大

B. 粒子由加速器的边缘进入加速器

C. 电场变化周期由粒子的质量、电荷量和磁感应强度决定

D. 为使被加速的粒子获得的动能增加为原来的 4 倍,可只将 D 形盒的半径增大为原来的 4 倍

7. (多选)质谱仪最初是由科学家阿斯顿设计的,他用质谱仪证实了同位素的存在。如图所示,容器 A 中有质量分别为 m_1、m_2,电荷量相同的两种粒子(不考虑粒子重力及粒子间的相互作用),它们从容器 A 下方的小孔 S_1 不断飘入电压为 U 的加速电场(粒子的初速度可视为零),沿直线 S_1S_2(S_1、S_2 为小孔)与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B、方向垂直纸面向外的匀强磁场中,最后打在水平放置的照相底片上。由于实际加速电压的大小在 $U\pm\Delta U$ 范围内微小变化,这两种粒子在底片上可能发生重叠。对此,下列说法正确的有(　　)



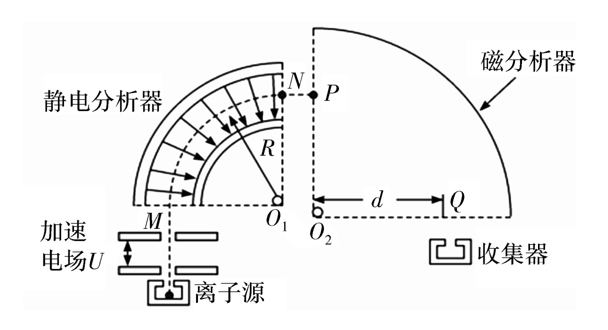
A. 两种粒子均带正电

B. 打在 M 处的粒子质量较小

C. 若 U 一定，ΔU 越大越容易发生重叠

D. 若 ΔU 一定，U 越大越容易发生重叠

8. 如图所示为一种质谱仪的工作原理示意图，此质谱仪由以下几部分构成：离子源、加速电场、静电分析器、磁分析器、收集器。静电分析器通道中心线半径为 R，通道内有均匀辐射电场，在中心线处的电场强度大小为 E；磁分析器中分布着方向垂直于纸面、磁感应强度为 B 的匀强磁场，其左边界与静电分析器的右边界平行。由离子源发出一个质量为 m、电荷量为 q 的正离子(初速度为零，重力不计)，经加速电场加速后进入静电分析器，沿中心线 MN 做匀速圆周运动，而后由 P 点进入磁分析器中，最终经过 Q 点进入收集器。下列说法正确的是(　　)



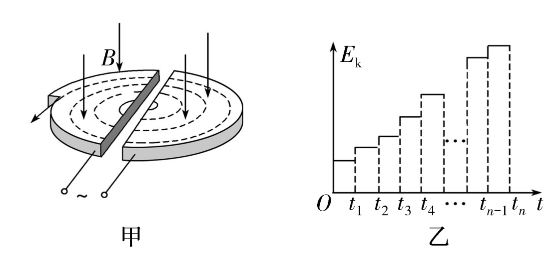
A. 磁分析器中匀强磁场方向垂直于纸面向内

B. 加速电场中的加速电压 $U=\dfrac{1}{2}ER$

C. 磁分析器中圆心 O_2 到 Q 点的距离 $d=\sqrt{\dfrac{mER}{q}}$

D. 任何离子若能到达 P 点，则一定能进入收集器

9. 如图甲所示是用来加速带电粒子的回旋加速器的示意图，其核心部分是两个 D 形金属盒，在加速带电粒子时，两金属盒置于匀强磁场中，两盒分别与高频电源相连。带电粒子在磁场中运动的动能 E_k 随时间 t 的变化规律如图乙所示。忽略带电粒子在电场中的加速时间，则下列说法正确的是(　　)



甲　　　　乙

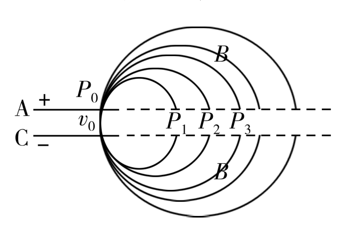
A. 在 E_k-t 图像中应有 $t_4-t_3<t_3-t_2<t_2-t_1$

B. 加速电压越大，粒子最后获得的动能就越大

C. 粒子加速次数越多，粒子最大动能一定越大

D. 增加 D 形盒的面积，可使粒子获得的最大动能增大

10. (多选)如图所示为一种改进后的回旋加速器示意图，其中盒缝间的加速电场场强大小恒定，且被限制在 A、C 板间，虚线中间不需加电场，带电粒子从 P_0 处以速度 v_0、沿电场线方向射入加速电场，经加速后再进入 D 形盒中的匀强磁场做匀速圆周运动，对这种改进后的回旋加速器，下列说法正确的是(　　)



A. 加速粒子的最大速度与 D 形盒的尺寸

无关

B. 带电粒子每运动一周被加速一次

C. 带电粒子每运动一周 P_1P_2 等于 P_2P_3

D. 加速电场方向不需要做周期性的变化

1.6.2 磁场中的其他仪器

知识清单

(一)速度选择器

装置	原理图	规律
速度选择器	+ ; × × × × ; v_0 ; B ; × × × × ; −	若 $qv_0B=qE$,即 $v_0=\dfrac{E}{B}$,带电粒子做匀速直线运动

(二)电磁流量计

装置	原理图	规律
电磁流量计	a ; b ; D ; v	$q\dfrac{U}{D}=qvB$,所以 $v=\dfrac{U}{DB}$,所以 $Q=vS=\dfrac{U}{DB}\pi\left(\dfrac{D}{2}\right)^2=\dfrac{\pi UD}{4B}$

(三)磁流体发电机

装置	原理图	规律
磁流体发电机	a ; R ; b ; A ; N ; S ; B	平行金属板 A、B 两板相距 d,板间的磁场按匀强磁场处理,磁感应强度为 B。将一束等离子体(即高温下电离的气体,含有大量正、负带电粒子)以速度 v 沿垂直于磁感线的方向射入磁场。这个发电机的电动势 $E=Bvd$

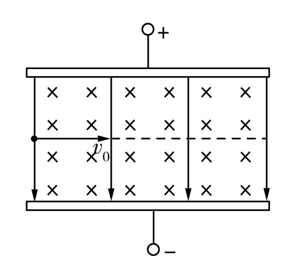
(四)霍尔元件

装置	原理图	规律
霍尔元件	z ; b ; y ; B ; I ; E ; q ; F ; v ; I ; x ; B ; a	当磁场方向与电流方向垂直时,导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差

课堂笔记

典型例题

【例 1】在两平行金属板间,有如图所示的正交的匀强电场和匀强磁场。α 粒子以速度 v_0 从两板左侧正中央垂直于电场方向和磁场方向射入时,恰好能沿直线匀速通过。供下列各小题选择的选项有:



A. 不偏转

B. 向上偏转

C. 向下偏转

D. 向纸内或纸外偏转

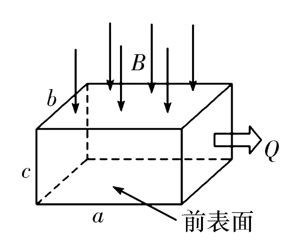
(1)若质子以速度 v_0 从两板左侧正中央垂直于电场方向和磁场方向射入时,质子将________。(填选项序号)

(2)若电子以速度 v_0 从两板左侧正中央垂直于电场方向和磁场方向射入时,电子将________。(填选项序号)

(3)若质子以大于 v_0 的速度从两板左侧正中央垂直于电场方向和磁场方向射入时,质子将________。(填选项序号)

(4)若增大匀强磁场的磁感应强度,其他条件不变,电子以速度 v_0 沿垂直于电场和磁场的方向,从两板左侧正中央射入时,电子将________。(填选项序号)

【例 2】(多选)为监测某化工厂的污水排放量,技术人员在该厂的排污管末端安装了如图所示的流量计。该装置由绝缘材料制成,长、宽、高分别为 a、b、c,左右两端开口。在垂直于上下底面方向加磁感应强度大小为 B 的匀强磁场,在前后两个内侧面分别固定有金属板作为电极,污水充满管口从左向右流经该装置时,电压表将显示两个电极间的电压 U。若用 Q 表示污水流量(单位时间内排出的污水体积),下列说法正确的是(　　)



A. 若污水中正离子较多,则前表面比后表面电势高

B. 前表面一定比后表面电势低,与哪种离子多无关

C. 污水中离子浓度越高,电压表的示数将越大

D. 污水流量 Q 与 U 成正比,与 a、b 无关

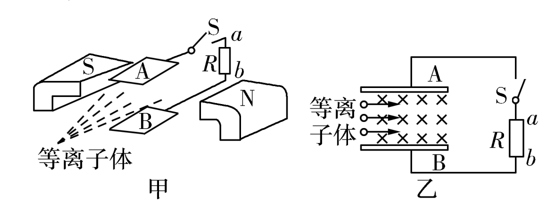
【例 3】磁流体发电是一种新型发电方式,图甲和图乙是其工作原理示意图。图甲中的 A、B 是电阻可忽略的导体电极,两个电极的间距为 d,这两个电极与负载电阻相连。假设等离子体(高温下电离的气体,含有大量的正负离子)垂直于磁场进入两极板间的速度均为 v_0。整个发电装置处于匀强磁场中,磁感应强度大小为 B,方向如图乙所示。

(1)开关断开时,请推导该磁流体发电机的电动势 E 的大小;

(2)开关闭合后:

①如果电阻 R 的两端被短接,此时回路电流为 I,求磁流体发电机的等效内阻 r;

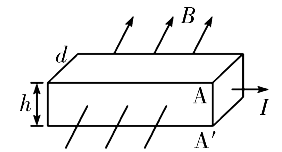
②我们知道,电源是通过非静电力做功将其他形式的能转化为电能的装置,请你分析磁流体发电机的非静电力是由哪个力充当的,其工作过程如何。



【例 4】如图所示,厚度为 h、宽度为 d 的导体板放在垂直于它的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,当电流通过导体板时,在导体板的上侧面 A 和下侧面 A′之间会产生电势差 U,这种现象称为霍尔效应。霍尔效应可解释如下:

外部磁场对运动电子的洛伦兹力使电子聚集在导体板的一侧,在导体板的另一侧会出现多余的正电荷,从而形成电场。电场对电子施加与洛伦兹力方向相反的静电力。当静电力与洛伦兹力达到平衡时,导体板上下两侧面之间就会形成稳定的电势差。电流 I 是自由电子的定向移动形成的,电子的平均定向移动速率为 v,电荷量为 e。

回答下列问题:



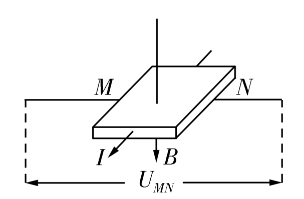
(1)达到稳定状态时,导体板上侧面 A 的电势________(选填“高于”“低于”或“等于”)下侧面 A′的电势。

(2)电子所受洛伦兹力的大小为________。

(3)当导体板上、下两侧面之间的电势差为 U_H 时,电子所受静电力的大小为______。

(4)上、下两侧面产生的稳定的电势差 $U=$ ________。

【例 5】霍尔元件是一种应用霍尔效应的磁传感器,广泛应用于各领域,如在翻盖手机中,常用霍尔元件来控制翻盖时开启或关闭运行程序。如图是一霍尔元件的示意图,磁场方向垂直霍尔元件工作面,霍尔元件宽为 d(M、N 间距离),厚为 h(图中上下面间距离),当通以图示方向电流时,MN 两端将出现电压 U_{MN},则(　　)



A. MN 两端电压 U_{MN} 仅与磁感应强度 B 有关

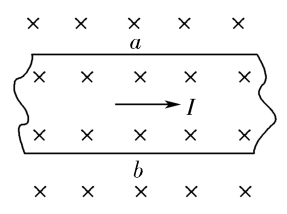
B. 若霍尔元件的载流子是自由电子,则 MN 两端电压 $U_{MN}<0$

C. 若增大 h,则 MN 两端电压 U_{MN} 一定增大

D. 通过控制磁感应强度 B 可以改变 MN 两端电压 U_{MN}

课后训练

1. 截面为矩形的载流金属导线置于磁场中,如图所示,将会出现的情况是(　　)



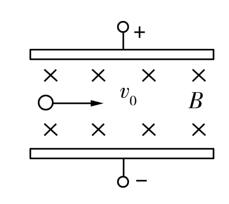
A. 在 b 表面聚集正电荷,而 a 表面聚集负电荷

B. 在 a 表面聚集正电荷，而 b 表面聚集负电荷

C. 开始通电时，电子做定向移动并向 b 偏转

D. 两个表面电势不同，a 表面电势较高

2. 如图所示，速度为 v_0、电荷量为 q 的正离子恰能沿直线飞出离子速度选择器，选择器中磁感应强度为 B，电场强度为 E，则(　　)



A. 若改为电荷量 $-q$ 的离子，将往上偏转(其他条件不变)

B. 若速度变为 $2v_0$，将往上偏转(其他条件不变)

C. 若改为电荷量 $+2q$ 的离子，将往下偏转(其他条件不变)

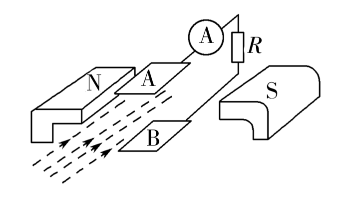
D. 若离子从选择器右端水平进入，则仍沿直线水平飞出(其他条件不变)

3. (多选)如图所示为电磁流量计(即计算单位时间内流过某一横截面的液体体积)的原理图：一圆形导管直径为 d，用非磁性材料制成，其中有可以导电的液体向左流动。图中磁场方向垂直于纸面向里，大小为 B，导电液体中的自由电荷(负离子)在洛伦兹力作用下偏转，a、b 间出现电势差。当自由电荷所受电场力和洛伦兹力平衡时，a、b 间的电势差就稳定为 U，则(　　)

A. 电势 a 高 b 低　　B. 电势 b 高 a 低

C. 流量 $Q=\dfrac{\pi dU}{4B}$　　D. 流量 $Q=\dfrac{4B}{\pi dU}$

4. (多选)目前世界上有一种新型发电机叫磁流体发电机，如图所示，将一束等离子体(包含大量正、负离子)喷射入磁场，在磁场中有两块金属板 A、B，于是金属板上就会聚集电荷，产生电压。下列说法正确的是(　　)



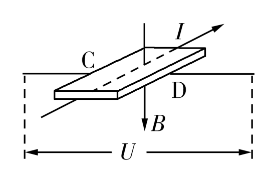
A. B 板带正电

B. A 板带正电

C. 其他条件不变，只增大射入速度，U_{AB} 增大

D. 其他条件不变，只增大磁感应强度，U_{AB} 增大

5. (多选)利用霍尔效应制作的霍尔元件被广泛应用于测量和自动控制等领域。如图是某种金属材料制成的霍尔元件的工作原理示意图，磁感应强度 B 垂直于霍尔元件的工作面向下，通入图示方向的电流 I，C、D 两侧面会形成电势差，下列说法正确的是(　　)



A. D 侧面电势高于 C 侧面电势

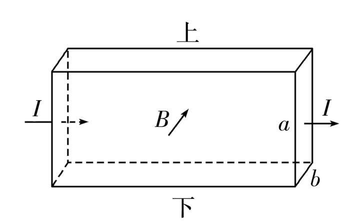
B. C 侧面电势高于 D 侧面电势

C. 在测地球赤道上方的地磁场强弱时，元件的工作面应保持竖直

D. 在测地球赤道上方的地磁场强弱时，元件的工作面应保持水平

6. 如图所示，一段长方体导电材料，左右两端面的边长都为 a 和 b，内有带电荷量为 q 的某种自由运动电荷。导电材料置于方向垂直于其前表面向里的匀强磁场中，内部磁感应强度大小为 B。当通以从左到右的稳恒电流 I 时，测得导电材料上、下表面之间的电压为 U，且上表面的电势比下表面的低。由此可得该导电材料单位体积内自由

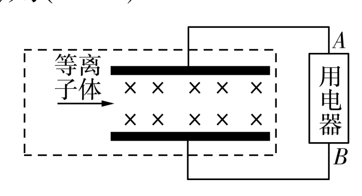
运动电荷数及自由运动电荷的正负分别为（　　）



A. $\frac{IB}{|q|aU}$,负　　B. $\frac{IB}{|q|aU}$,正

C. $\frac{IB}{|q|bU}$,负　　D. $\frac{IB}{|q|bU}$,正

7.（多选）磁流体发电是一项新兴技术。如图所示，平行金属板之间有一个很强的磁场，将一束含有大量正、负带电离子的等离子体，沿图中所示方向喷入磁场，图中虚线框部分相当于发电机，把两个极板与用电器相连，则（　　）



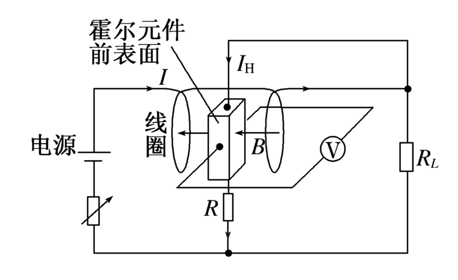
A. 用电器中的电流方向为从 A 到 B

B. 用电器中的电流方向为从 B 到 A

C. 若只增大磁场的磁感应强度，发电机的电动势增大

D. 若只增大喷入离子的速度，发电机的电动势增大

8.（多选）如图所示，导电物质为电子的霍尔元件位于两串联线圈之间，线圈中电流为 I，线圈间产生匀强磁场，磁感应强度大小 B 与 I 成正比，方向垂直于霍尔元件的两侧面，此时通过霍尔元件的电流为 I_H，与其前后表面相连的电压表测出的霍尔电压 U_H 满足：$U_H=k\frac{I_HB}{d}$，式中 k 为霍尔系数，d 为霍尔元件两侧面间的距离。电阻 R 远大于 R_L，霍尔元件的电阻可以忽略，则（　　）



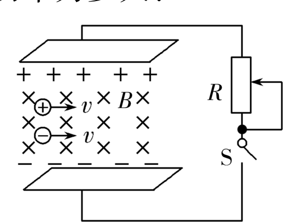
A. 霍尔元件前表面的电势低于后表面

B. 若电源的正负极对调，电压表将反偏

C. I_H 与 I 成正比

D. 电压表的示数与 R_L 消耗的电功率成正比

9. 如图所示，磁流体发电机的极板相距 $d=0.2\ \text{m}$，极板间有垂直于纸面向里的匀强磁场，$B=1.0\ \text{T}$。外电路中可变负载电阻 R 用导线与极板相连。电离气体以速率 $v=1100\ \text{m/s}$ 沿极板垂直于磁场方向射入，极板间电离气体的等效内阻 $r=0.1\ \Omega$，试求此发电机的最大输出功率为多大？

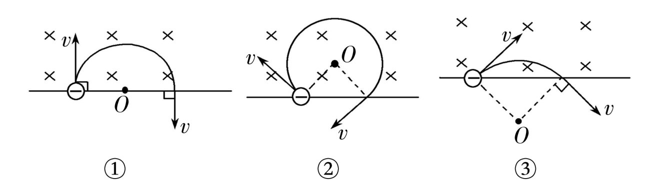


1.7.1　专题一：边界磁场问题（一）

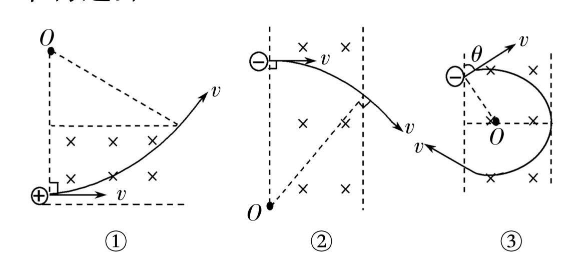
知识清单

带电粒子在不同边界磁场中的运动

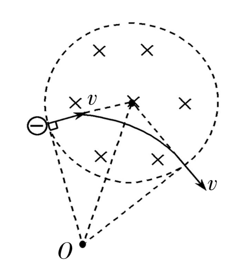
1. 直线边界



2. 平行边界



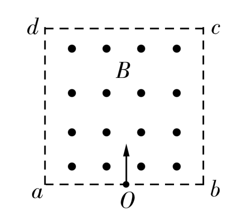
3. 圆形边界



课堂笔记

典型例题

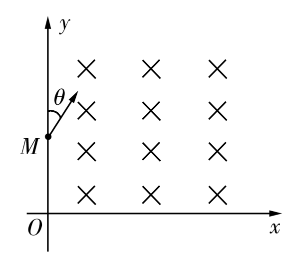
【例 1】如图，边长为 l 的正方形 $abcd$ 内存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面（$abcd$ 所在平面）向外。ab 边中点有一电子发射源 O，可向磁场内沿垂直于 ab 边的方向发射电子。已知电子的比荷为 k。则从 a、d 两点射出的电子的速度大小之比为多少？



【例 2】如图所示，在 xOy 平面的第一象限内存在方向垂直纸面向里，磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一带电粒子从 y 轴上的 M 点射入磁场，速度方向与 y 轴正方向的夹角 $\theta=45°$。带电粒子经过磁场偏转后在 N 点（图中未画出）垂直穿过 x 轴。已知 $OM=a$，带电粒子电荷量为 q，质量为 m，重力不计。求：

（1）带电粒子运动的速度大小；

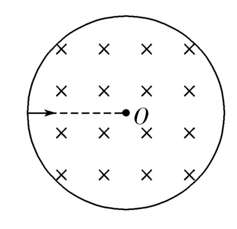
（2）带电粒子从 M 点运动到 N 点的时间。



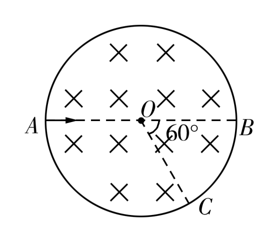
【例3】空间有一圆柱形匀强磁场区域,该区域的横截面的半径为 R,磁场方向垂直于横截面向里。如图,一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子以速度 v_0 沿横截面的某直径射入磁场,离开磁场时速度方向偏离入射方向60°。不计重力,求:

(1)磁场的磁感应强度大小;

(2)粒子在磁场中运动的时间。



【例4】如图所示,圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场,一个带电粒子以速度 v 从 A 点沿直径 AOB 方向射入磁场,经过 Δt 时间从 C 点射出磁场,OC 与 OB 成60°角。现将带电粒子的速度变为$\frac{v}{3}$,仍从 A 点射入磁场,不计重力,则粒子在磁场中的运动时间变为(　　)

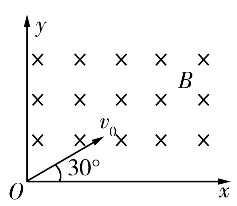


A. $\frac{1}{2}\Delta t$　　B. $2\Delta t$

C. $\frac{1}{3}\Delta t$　　D. $3\Delta t$

课后训练

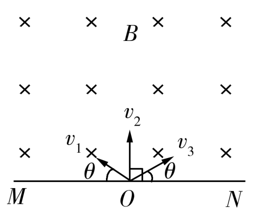
1. 如图所示,在第一象限内有垂直纸面向里的匀强磁场(磁场足够大),一对正负电子分别以相同的速度沿与 x 轴成30°角的方向从原点垂直磁场射入,则负电子与正电子在磁场中运动的时间之比为(　　)



A. $1:\sqrt{3}$　　B. $1:2$

C. $1:1$　　D. $2:1$

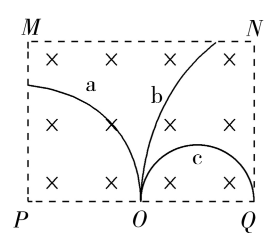
2. 在真空室中,有垂直于纸面向里的匀强磁场,三个质子1、2和3分别以大小相等、方向如图所示的初速度 v_1、v_2 和 v_3 经过平板 MN 上的小孔 O 射入匀强磁场。这三个质子打到平板 MN 上的位置到小孔 O 的距离分别是 s_1、s_2 和 s_3,不计质子重力,则有(　　)



A. $s_1>s_2>s_3$　　B. $s_1<s_2<s_3$

C. $s_1=s_3>s_2$　　D. $s_1=s_3<s_2$

3. 如图所示,在 $MNQP$ 中有一垂直纸面向里的匀强磁场。质量和电荷量都相等的带电粒子a、b、c以不同的速率从 O 点沿垂直于 PQ 的方向射入磁场,图中实线是它们的轨迹。已知 O 是 PQ 的中点,不计粒子重力,下列说法正确的是(　　)



A. 粒子a带负电,粒子b、c带正电

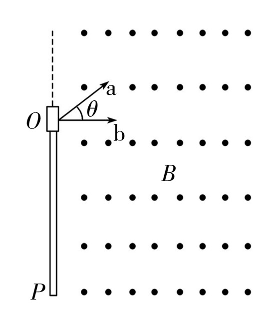
B. 射入磁场时粒子a的速率最小

C. 射出磁场时粒子b的动能最小

D. 粒子c在磁场中运动的时间最长

4. (多选)如图所示,在一单边有界磁场的边界上有一粒子源 O,沿垂直磁场方向,以相

同速率向磁场中发出了两种粒子，a 为质子（$_{1}^{1}\mathrm{H}$），b 为 α 粒子（$_{2}^{4}\mathrm{He}$），b 的速度方向垂直于磁场边界，a 的速度方向与 b 的速度方向之间的夹角为 $\theta=30^{\circ}$，两种粒子最后都打到了位于磁场边界位置的光屏 OP 上，则（　　）



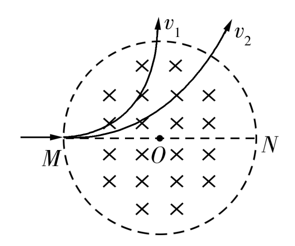
A. a、b 两粒子运动周期之比为 $2:3$

B. a、b 两粒子在磁场中运动时间之比为 $2:3$

C. a、b 两粒子在磁场中运动的轨迹半径之比为 $1:2$

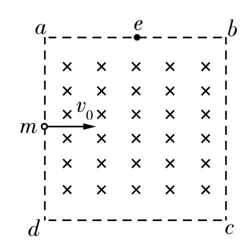
D. a、b 两粒子打到光屏上的位置到 O 点的距离之比为 $1:2$

5. 如图，圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子从圆周上的 M 点沿直径 MON 方向射入磁场。若粒子射入磁场时的速度大小为 v_1，离开磁场时速度方向偏转 90°；若射入磁场时的速度大小为 v_2，离开磁场时速度方向偏转 60°。不计重力，则 $\dfrac{v_1}{v_2}$ 为（　　）



A. $\dfrac{1}{2}$　　B. $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　　C. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　　D. $\sqrt{3}$

6.（多选）如图所示，正方形区域 $abcd$ 中充满匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。一个不计重力的正粒子从 ad 边的中点沿着既垂直于 ad 边又垂直于磁场的方向，以一定速度射入磁场，正好从 ab 边中点 e 射出磁场。若将磁场的磁感应强度变为原来的 2 倍，其他条件不变，则下列说法正确的是（　　）



A. 这个正粒子射出磁场的位置正好在 a 点

B. 这个正粒子射出磁场的位置在 a、e 之间某点

C. 这个正粒子射出磁场的时间不变

D. 这个正粒子射出磁场的时间是以前的 $\dfrac{1}{2}$

7.（多选）如图所示，空间存在方向垂直于纸面向里的分界磁场，其中在 MN 左侧区域的磁感应强度大小为 B，在 MN 右侧区域的磁感应强度大小为 $3B$。一质量为 m、电荷量为 q、重力不计的带电粒子以平行纸面的速度 v 从 MN 上的 O 点垂直 MN 射入磁场，此时开始计时，当粒子的速度方向再次与入射方向相同时，下列说法正确的是（　　）

A. 粒子运动的时间是 $\dfrac{4\pi m}{3qB}$

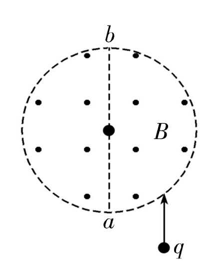
B. 粒子运动的时间是 $\dfrac{2\pi m}{3qB}$

C. 粒子与 O 点间的距离为 $\dfrac{4mv}{3qB}$

D. 粒子与 O 点间的距离为 $\dfrac{mv}{3qB}$

8. 如图所示，半径为 R 的圆是一圆柱形匀强磁场区域的横截面（纸面），磁感应强度大

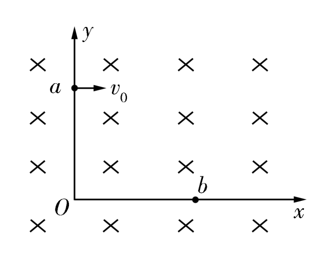
小为 B、方向垂直于纸面向外，一电荷量为 q、质量为 m 的正离子沿平行于直径 ab 的方向射入磁场区域，射入点与 ab 的距离为 $\frac{R}{2}$。已知离子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为60°，则离子的速率为（不计重力）（　　）



A. $\frac{qBR}{2m}$　　B. $\frac{qBR}{m}$

C. $\frac{3qBR}{2m}$　　D. $\frac{2qBR}{m}$

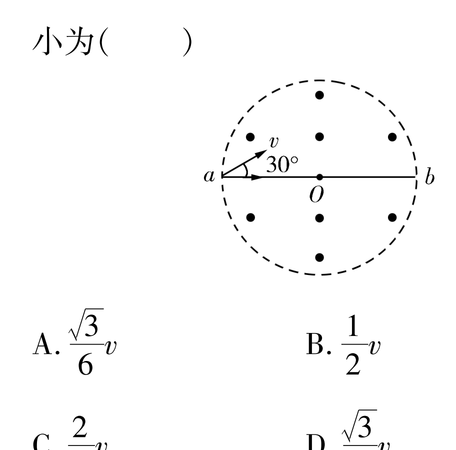
9. 一带电粒子以初速度 v_0 从 a 点垂直 y 轴进入匀强磁场，如下图。运动中经过 b 点，$Oa=Ob$。若撤去磁场加一个与 y 轴平行的匀强电场，该粒子仍以 v_0 从 a 点垂直 y 轴进入电场，粒子仍能通过 b 点。那么电场强度 E 与磁感应强度 B 之比为（　　）



A. v_0　　B. $\frac{1}{v_0}$

C. $2v_0$　　D. $\frac{v_0}{2}$

10. 如图所示，在圆形区域内存在垂直纸面向外的匀强磁场，ab 是圆的直径。一不计重力的带电粒子从 a 点射入磁场，速度大小为 v，当速度方向与 ab 成30°角时，粒子在磁场中运动的时间最长，最长时间为 t。若相同的带电粒子从 a 点沿 ab 方向射入磁场，也经时间 t 飞出磁场，则其速度大小为（　　）



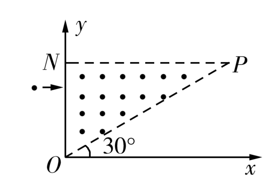
A. $\frac{\sqrt{3}}{6}v$　　B. $\frac{1}{2}v$

C. $\frac{2}{3}v$　　D. $\frac{\sqrt{3}}{2}v$

11. 如图，在直角三角形 OPN 区域内存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向外。一带正电的粒子从静止开始经电压 U 加速后，沿平行于 x 轴的方向射入磁场。一段时间后，该粒子在 OP 边上某点以垂直于 x 轴的方向射出。已知 O 点为坐标原点，N 点在 y 轴上，OP 与 x 轴的夹角为30°，粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为 d，不计重力。求：

（1）带电粒子的比荷；

（2）带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间。



1.7.2　专题二：边界磁场问题（二）

知识清单

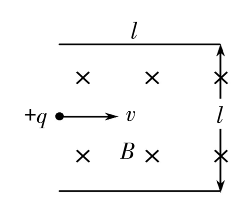
研究边界磁场问题的几种思想

1. 放缩圆：粒子的初速度方向一致但大小各不相同，此时粒子的轨道半径不同，但都相切于起点，圆心在一条直线上。解题时可以从小圆逐渐画大，寻找临界状态（多为轨迹于边界相切时）。
2. 旋转圆：粒子的初速度大小相同，但发射方向各不相同，此时粒子的轨迹圆半径相同。可将一个轨迹圆绕起点旋转得到其他轨迹圆，没有其他限制时，所有粒子经过的区域是一个以起点为圆心，$2R$ 为半径（R 为单个粒子轨迹半径）的圆。解决这类问题时要注意粒子电性，即转动方向。
3. 平移圆：粒子源发射速度大小、方向一定，入射点不同，但在同一直线的带电粒子垂直进入匀强磁场时，它们做匀速圆周运动的半径相同。若入射速度大小为 v_0，则半径$R=\dfrac{mv_0}{qB}$。将圆进行平移，从而探索临界条件的方法叫“平移圆”法。

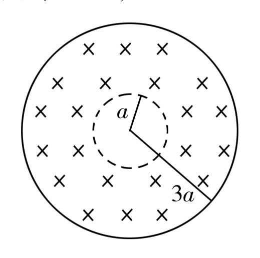
课堂笔记

典型例题

【例 1】长为 L 的水平极板间有垂直纸面向里的匀强磁场，如图所示。磁感应强度为 B，板间距离也为 L，极板不带电。现有质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子（不计重力），从左边极板间中点处垂直磁感线以速度 v 水平射入磁场，欲使粒子不打在极板上，粒子运动的速度应满足什么条件？



【例 2】真空中有一匀强磁场，磁场边界为两个半径分别为 a 和 $3a$ 的同轴圆柱面，磁场的方向与圆柱轴线平行，其横截面如图所示。一速率为 v 的电子从圆心沿半径方向进入磁场。已知电子质量为 m，电荷量为 e，忽略重力。为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内，磁场的磁感应强度最小应为（　　）



A. $\frac{3mv}{4ae}$　　B. $\frac{mv}{ae}$

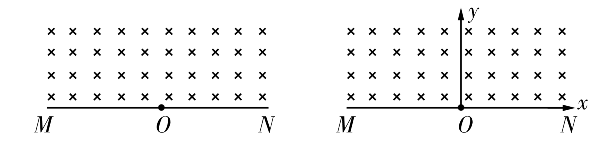
C. $\frac{3mv}{2ae}$　　D. $\frac{3mv}{5ae}$

【例3】如图所示，在一挡板MN的上方，有磁感应强度为B的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。O为MN上的一个粒子发射源，它能连续向垂直于磁场的方向发射速率为v、质量为m、电荷量为q的带负电粒子，假设不计粒子的重力和粒子间的相互作用，粒子打到挡板上时均被挡板吸收。求：

(1)画出在垂直于磁场的平面内有粒子经过的区域，并求出该区域的面积；

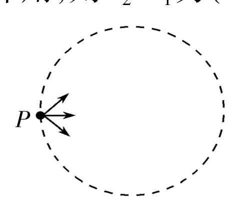
(2)打在挡板上的粒子离O点的最远距离；

(3)如图，以O点为坐标原点，建立了直角坐标系。若粒子带正电，且只在第二象限中有粒子飞入，请再次作出粒子经过的区域。



【例4】如图所示，在真空中坐标xOy平面的$x>0$区域内，有磁感应强度$B=1.0\times10^{-2}$ T的匀强磁场，磁场方向垂直于xOy平面向里。在x轴上的$P(10,0)$点，有一放射源，在xOy平面内向各个方向发射速率$v=10^{4}$ m/s的带正电的粒子，粒子的质量为$m=1.6\times10^{-25}$ kg，电荷量为$q=1.6\times10^{-18}$ C，求带电粒子能打到y轴上的范围。

【例5】图中虚线所示的圆形区域内存在一垂直于纸面的匀强磁场，P为磁场边界上的一点，大量相同的带电粒子以相同的速率经过P点，在纸面内沿不同的方向射入磁场。若粒子射入速率为v_1，这些粒子在磁场边界的出射点分布在六分之一圆周上；若粒子射入速率为v_2，相应的出射点分布在三分之一圆周上。不计重力及带电粒子之间的相互作用，则$v_2:v_1$为(　　)



A. $\sqrt{3}:2$　　B. $\sqrt{2}:1$

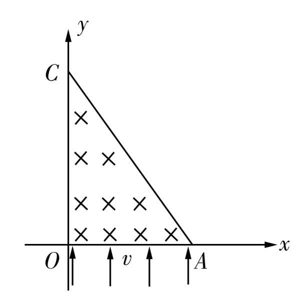
C. $\sqrt{3}:1$　　D. $3:\sqrt{2}$

【例 6】如图所示，△OAC 的三个顶点的坐标分别为 $O(0,0)$、$A(L,0)$、$C(0,\sqrt{3}L)$，在△OAC 区域内有垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场。在 $t=0$ 时刻，同时从三角形的 OA 边各处以沿 y 轴正向的相同速度将质量均为 m，电荷量均为 q 的带正电粒子射入磁场。已知在 $t=t_0$ 时刻从 OC 边射出磁场的粒子的速度方向垂直于 y 轴。不计粒子重力和空气阻力及粒子间相互作用。

(1)求磁场的磁感应强度 B 的大小；

(2)若从 OA 边两个不同位置射入磁场的粒子，先后从 OC 边上的同一点 P(P 点图中未标出)射出磁场，求这两个粒子在磁场中运动的时间 t_1 与 t_2 之间应满足的关系；

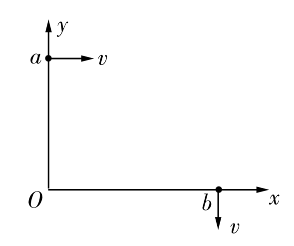
(3)从 OC 边上的同一点 P 射出磁场的这两个粒子经过 P 点的时间间隔与 P 点位置有关。若该时间间隔最大值为 $\frac{4}{3}t_0$，求粒子进入磁场时的速度大小。



【例 7】一带电粒子，质量为 m，电荷量为 q，以平行于 Ox 轴的速度 v 从 y 轴上的 a 点射入图中的第一象限所示的区域，为了使该质点能从 x 轴上的 b 点以垂直于 Ox 轴的速度 v 射出，可在适当的地方加一垂直于 xOy 平面、磁感应强度为 B 的匀强磁场，重力不计。

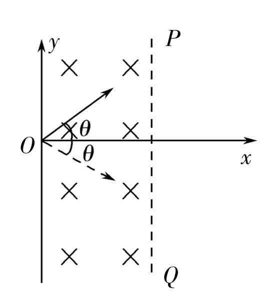
(1)若此磁场仅分布在一圆形区域内，试求这圆形区域的最小面积；

(2)若此磁场仅分布在一矩形区域内，试求这矩形区域的最小面积。



课后训练

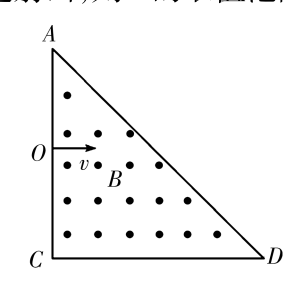
1. 如图所示，直角坐标系中 y 轴右侧存在一垂直纸面向里、宽为 a 的有界匀强磁场，磁感应强度为 B，右边界 PQ 平行于 y 轴。一粒子(重力不计)从原点 O 以与 x 轴正方向成 θ 角的速率 v 垂直射入磁场，当斜向上射入时，粒子恰好垂直 PQ 射出磁场，当斜向下射入时，粒子恰好不从右边界射出，则粒子的比荷及粒子恰好不从右边界射出时在磁场中运动的时间分别为(　　)



A. $\frac{v}{Ba},\frac{2\pi a}{3v}$　　B. $\frac{v}{2Ba},\frac{2\pi a}{3v}$

C. $\frac{v}{2Ba},\frac{4\pi a}{3v}$　　D. $\frac{v}{Ba},\frac{4\pi a}{3v}$

2. 如图所示,在一等腰直角三角形 ACD 区域内有垂直纸面向外的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为 B。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子(重力不计)以速度 v 从 AC 边的中点 O 垂直 AC 边射入磁场区域。若三角形的两直角边边长均为 $2L$,要使粒子从 CD 边射出,则 v 的取值范围为(　　)



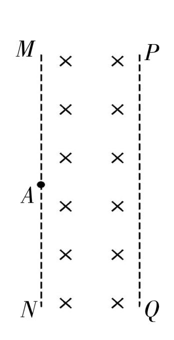
A. $\frac{qBL}{m}\leqslant v\leqslant\frac{2\sqrt{2}qBL}{m}$

B. $\frac{qBL}{m}\leqslant v\leqslant\frac{5qBL}{m}$

C. $\frac{qBL}{2m}\leqslant v\leqslant\frac{(\sqrt{2}+1)qBL}{m}$

D. $\frac{qBL}{2m}\leqslant v\leqslant\frac{5qBL}{2m}$

3. 如图所示,平行边界 MN、PQ 间有垂直纸面向里的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为 B,两边界间距为 d,MN 上有一粒子源 A,可在纸面内沿各个方向向磁场中射入质量均为 m、电荷量均为 q 的带正电的粒子。

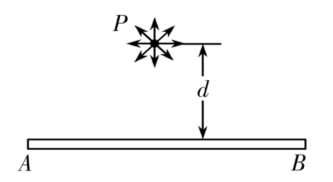


粒子射入磁场的速度 $v=\frac{2qBd}{3m}$,不计粒子的重力,则粒子能从 PQ 边界射出的区域长度为(　　)

A. d　　B. $\frac{2}{3}d$

C. $\frac{2\sqrt{3}}{3}d$　　D. $\frac{\sqrt{3}}{2}d$

4. (多选)如图,一粒子发射源 P 位于足够长的绝缘板 AB 的上方 d 处,能够在纸面内向各个方向发射速率为 v、比荷为 k 的带正电粒子,空间存在垂直纸面的匀强磁场,不考虑粒子间的相互作用和粒子重力。已知粒子做圆周运动的半径大小恰好为 d,则(　　)



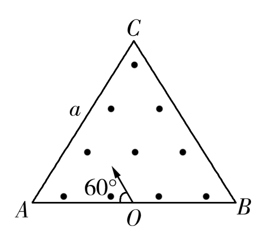
A. 磁感应强度的大小为$\frac{d}{kv}$

B. 磁感应强度的大小为$\frac{v}{kd}$

C. 同一时刻发射出的带电粒子打到板上的最大时间差为$\frac{7\pi d}{6v}$

D. 同一时刻发射出的带电粒子打到板上的最大时间差为$\frac{\pi kd}{6v}$

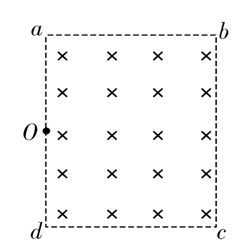
5. 如图所示,在边长为 a 的正三角形区域内存在着方向垂直于纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。一个质量为 m、电荷量为 $+q$ 的带电粒子(重力不计)从 AB 边的中点 O 以某一速度 v 进入磁场,粒子进入磁场时的速度方向垂直于磁场且与 AB 边的夹角为 $60°$。若粒子能从 AB 边穿出磁场,且粒子在磁场中运动的过程中,到 AB 边有最大距离,则 v 最大为(　　)



A. $\frac{\sqrt{3}Bqa}{4m}$　　B. $\frac{3Bqa}{4m}$

C. $\frac{\sqrt{3}Bqa}{8m}$　　D. $\frac{3Bqa}{8m}$

6.（多选）如图所示，在边长 $ab=1.5L$、$bc=\sqrt{3}L$的矩形区域内存在着垂直纸面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场。在 ad 边中点 O 处有一粒子源，可以垂直于磁场向区域内各个方向发射速度大小相等的同种带电粒子。若沿 Od 方向射入的粒子从磁场边界 cd 离开磁场，该粒子在磁场中运动的时间为 t_0，圆周运动半径为 L。不计粒子的重力和粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　　）



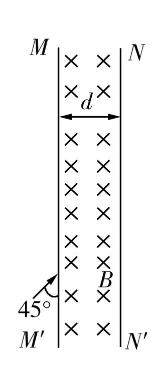
A. 粒子带负电

B. 粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期为 $6t_0$

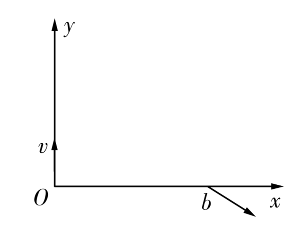
C. 粒子的比荷为$\frac{\pi}{Bt_0}$

D. 粒子在磁场中运动的最长时间为 $2t_0$

7. 如图所示，宽度为 d 的有界匀强磁场，磁感应强度为 B，MM' 和 NN'是它的两条边界。现有质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子沿图示方向垂直于磁场射入。要使粒子不能从边界 NN'射出，求粒子入射速率 v 的最大值可能是多少。



8. 如图所示，一重力不计的带电粒子质量为 m，电荷量为 $+q$，从坐标原点以沿 y 轴正方向的速度 v 射出。为使该粒子能从 x 轴正方向上的 b 点射出第一象限，且粒子在 b 点时的速度方向与 x 轴正方向的夹角为 30°，可在适当区域加一个垂直于 xOy 平面，磁感应强度为 B，垂直纸面向外的匀强磁场。若此磁场仅分布在一个圆形区域内，求该圆形磁场区域的最小面积。

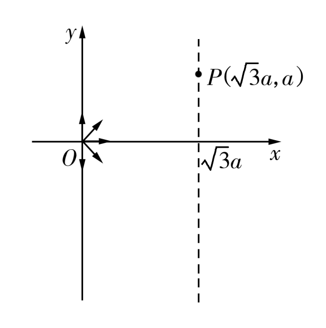


9. 如图,在 $0 \leqslant x \leqslant \sqrt{3}a$ 区域内存在与 xOy 平面垂直的匀强磁场,磁感应强度的大小为 B。在 $t=0$ 时刻,一位于坐标原点的粒子源在 xOy 平面内发射出大量同种带电粒子,所有粒子的初速度大小相同,方向与 y 轴正方向夹角分布在 0~180°范围内。已知沿 y 轴正方向发射的粒子在 $t=t_0$ 时刻刚好从磁场边界上 $P(\sqrt{3}a, a)$ 点离开磁场。求:

(1)粒子在磁场中做圆周运动的半径 R 及粒子的比荷;

(2)此时刻仍在磁场中的粒子的初速度方向与 y 轴正方向夹角的取值范围;

(3)从粒子发射到全部粒子离开磁场所用的时间。



1.8 专题三:带电粒子在组合场中的运动

知识清单

(一)“电偏转”和“磁偏转”的比较

项目	电偏转	磁偏转
偏转条件	带电粒子以 $v \perp E$ 进入匀强电场(不计重力)	带电粒子以 $v \perp B$ 进入匀强磁场(不计重力)
受力情况	只受恒定的电场力 $F=Eq$	只受大小恒定的洛伦兹力 $F=qvB$
运动情况	类平抛运动	匀速圆周运动
运动轨迹	抛物线	圆弧
求解方法	利用类平抛运动的规律 $x=v_0t, y=\frac{1}{2}at^2, a=\frac{qE}{m}, \tan\theta=\frac{at}{v_0}$	牛顿第二定律、向心力公式 $r=\frac{mv}{qB}, T=\frac{2\pi m}{qB}, t=\frac{\theta T}{2\pi}$

（二）组合场

电场与磁场各位于一定的区域内，并不重叠，电场、磁场交替出现。

（三）突破带电粒子在组合场中的运动问题

1. 明性质：要清楚场的性质、方向、强弱、范围等。
2. 定运动：带电粒子依次通过不同场区时，由受力情况确定粒子在不同区域的运动情况。
3. 画轨迹：正确地画出粒子的运动轨迹图。
4. 用规律：根据区域和运动规律的不同，将粒子运动的过程划分为几个不同阶段，对不同的阶段选取不同的规律处理。
5. 找关系：要明确带电粒子通过不同场区的交界处时的速度关系，上一个区域的末速度往往是下一个区域的初速度。

（四）磁聚焦

大量带电粒子以相同的速度平行射入圆形区域磁场，当粒子在磁场中的轨迹半径和磁场区域半径相同时，粒子将聚焦于磁场边界的某一点，但聚焦处粒子的速度方向各不相同；反过来，当大量速度大小相同方向不同的粒子从圆形区域的磁场边界某位置进入磁场时，最后会从磁场边界平行射出。

课堂笔记

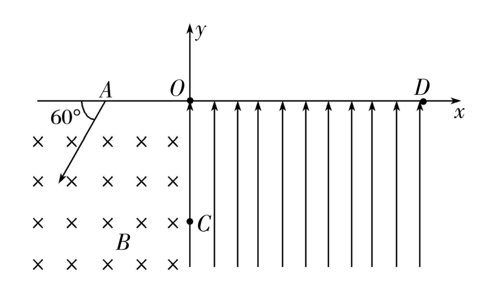
典型例题

【例 1】如图所示，在空间有 xOy 坐标系，第三象限有磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，第四象限有竖直向上的匀强电场。一个质量为 m、电荷量为 q 的正离子，从 A 处沿与 x 轴负方向成 $60°$角垂直射入匀强磁场中，结果离子正好从距 O 点为 L 的 C 处沿垂直电场方向进入匀强电场，最后离子打在 x 轴上距 O 点 $2L$ 的 D 处。不计离子重力，求：

（1）此离子在磁场中做圆周运动的半径；

（2）离子从 A 处运动到 D 处所需的时间；

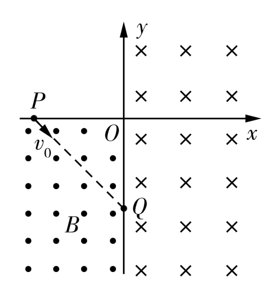
（3）电场强度 E 的大小。



【例 2】如图,在第三象限内存在方向垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场;在第一、第四象限内存在方向垂直纸面向里、磁感应强度大小未知的匀强磁场;$P(-\sqrt{2}L,0)$、$Q(0,-\sqrt{2}L)$是坐标轴上的两个点。现有一负离子从 P 点以速率 v_0 沿 PQ 方向射出,刚好通过原点 O 进入第一象限,离子第二次经过 y 轴的位置为 M 点(图中未画出),M 与 O 点相距 $2\sqrt{2}L$,不计离子重力。求:

(1)离子在第三象限内运动的轨道半径 R_1 和第一、第四象限内磁场的磁感应强度大小 B';

(2)离子从 P 点运动到 M 点的时间 t。

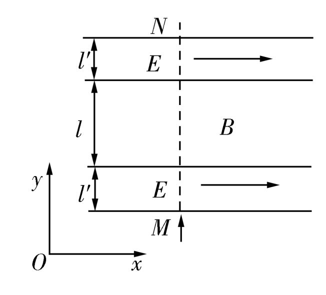


【例 3】一足够长的条状区域内存在匀强电场和匀强磁场,其在 xOy 平面内的截面如图所示:中间是磁场区域,其边界与 y 轴垂直,宽度为 l,磁感应强度的大小为 B,方向垂直于 xOy 平面;磁场的上、下两侧为电场区域,宽度均为 l',电场强度的大小均为 E,方向均沿 x 轴正方向;M、N 为条形区域边界上的两点,它们的连线与 y 轴平行。一带正电的粒子以某一速度从 M 点沿 y 轴正方向射入电场,经过一段时间后恰好以从 M 点入射的速度从 N 点沿 y 轴正方向射出,不计重力。

(1)定性画出该粒子在电磁场中运动的轨迹;

(2)求该粒子从 M 点射入时速度的大小;

(3)若该粒子进入磁场时的速度方向恰好与 x 轴正方向的夹角为 $\frac{\pi}{6}$,求该粒子的比荷及其从 M 点运动到 N 点的时间。

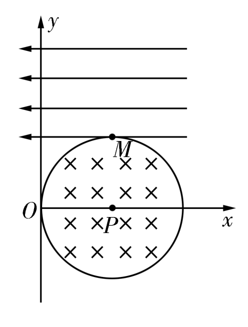


【例 4】如图所示，在 xOy 坐标系中有一半径为 R、圆心 P 的坐标为 $(R,0)$ 的圆形匀强磁场区域，磁场方向垂直 xOy 平面向里，在 $y\geq R$ 范围内，有沿 x 轴负方向足够大的匀强电场。从坐标原点 O 处有大量相同带正电粒子以相同速率 v 沿不同方向垂直射入磁场，沿 x 轴正方向射入的粒子恰好从 $M(R,R)$ 点射入电场，并经过 y 轴上坐标为 $(0,2R)$ 的点。已知粒子比荷为 k，不计粒子重力及粒子间的相互作用。

(1) 求磁感应强度、电场强度的大小；

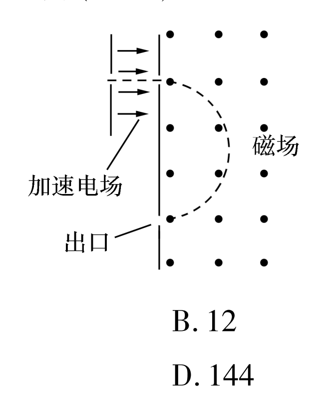
(2) 若某粒子沿与 x 轴正方向夹角为 $30°$ 射入第四象限，求该粒子从 O 点运动到 y 轴的时间；

(3) 若粒子速率变为原来的 2 倍，要使粒子射出磁场后不能进入匀强电场，写出粒子从 O 点射入磁场时的速度方向与 x 轴正方向夹角的正弦值应满足的条件。



课后训练

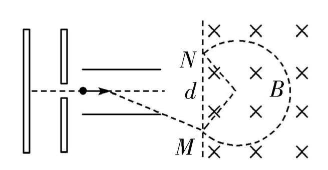
1. 现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子，其示意图如图所示，其中加速电压恒定。质子在入口处从静止开始被加速电场加速，经匀强磁场偏转后从出口离开磁场。若某种一价正离子在入口处从静止开始被同一加速电场加速，为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场，需将磁感应强度增加到原来的 12 倍。此离子和质子的质量比约为（　　）



A. 11　　B. 12

C. 121　　D. 144

2. 如图所示，某种带电粒子由静止开始经电压为 U_1 的电场加速后，射入水平放置、电势差为 U_2 的两导体板间的匀强电场中，带电粒子沿平行于两板的方向从两板正中间射入，穿过两板后又垂直于磁场方向射入边界线竖直的匀强磁场中，则粒子射入磁场和射出磁场的 M、N 两点间的距离 d 随着 U_1 和 U_2 的变化情况为（不计重力，不考虑边缘效应）（　　）



A. d 随 U_1 变化，d 与 U_2 无关

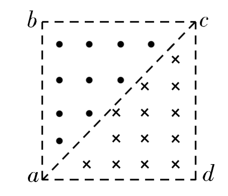
B. d 与 U_1 无关，d 随 U_2 变化

C. d 随 U_1 变化，d 随 U_2 变化

D. d 与 U_1 无关，d 与 U_2 无关

3. （多选）如图所示，边长为 L 的正方形 $abcd$ 内以对角线 ac 为界，在三角形 abc 区域内

存在着垂直纸面向外的匀强磁场，磁场的磁感应强度大小为 B_1；在三角形 adc 区域内存在着垂直纸面向里的匀强磁场，磁场的磁感应强度大小为 B_2。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子在 b 点以速度 $v=\frac{qB_1L}{m}$ 沿 bc 方向射入磁场，粒子最后垂直于 cd 方向射出磁场，不计粒子重力，下列说法正确的是（　　）



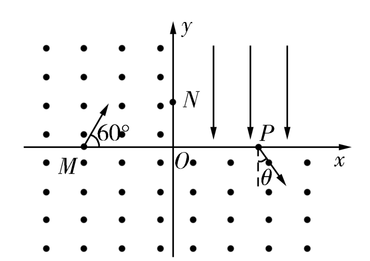
A. 粒子在第二个磁场中运动的轨迹半径为 L

B. $\frac{B_1}{B_2}=\sqrt{2}-1$

C. 粒子先后在两个磁场中运动的圆心角之比为 $1:1$

D. 粒子先后在两个磁场中运动时间之比为 $(\sqrt{2}-1):1$

4. 如图，在第一象限内存在沿 y 轴负方向的匀强电场，在第二、三、四象限内存在垂直 xOy 平面向外的匀强磁场，一个质子从 x 轴上的 M 点以速度 v_0 沿与 x 轴正方向成 $60°$ 角的方向射入第二象限，正好垂直于 y 轴从 N 点进入匀强电场，从 x 轴上的 P 点沿与 y 轴负方向轴成 θ 角再次进入匀强磁场，磁场的范围足够大。已知 $OM=\sqrt{3}h$，质子的质量为 m，电荷量为 e，不计质子的重力及空气阻力，求：



（1）匀强磁场的磁感应强度 B 的大小；

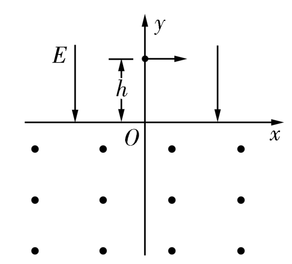
（2）匀强电场的电场强度 E 的大小。

5. 如图，在 xOy 平面 $y>0$ 的区域存在方向沿 y 轴负方向的匀强电场，场强大小为 E，在 $y<0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场。一个氕核 ^1_1H 和一个氘核 ^2_1H 先后从 y 轴上 $y=h$ 点以相同的动能射出，速度方向沿 x 轴正方向。已知 ^1_1H 进入磁场时，速度方向与 x 轴正方向的夹角为 $60°$，并从坐标原点 O 处第一次射出磁场。^1_1H 的质量为 m，电荷量为 q 不计重力。求：

（1）^1_1H 第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离；

（2）磁场的磁感应强度大小；

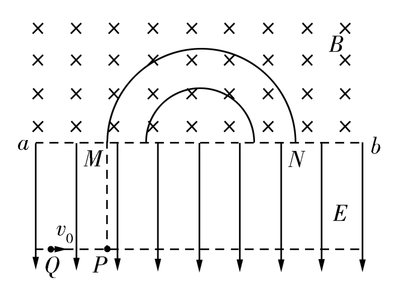
（3）^2_1H 第一次离开磁场的位置到原点 O 的距离。



6. 如图所示,在水平线 ab 下方有一匀强电场,电场强度为 E,方向竖直向下,ab 的上方存在匀强磁场,磁感应强度为 B,方向垂直纸面向里,磁场中有一内、外半径分别为 R、$\sqrt{3}R$ 的半圆环形区域,外圆与 ab 的交点分别为 M、N。一质量为 m、电荷量为 q 的带负电粒子在电场中 P 点静止释放,由 M 进入磁场,从 N 射出,不计粒子重力。

(1)求粒子从 P 到 M 所用的时间;

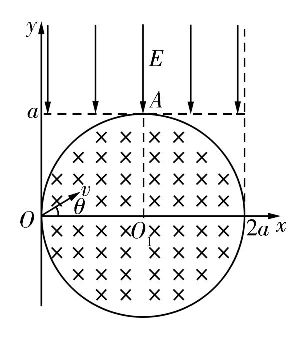
(2)若粒子从与 P 同一水平线上的 Q 点水平射出,同样能由 M 进入磁场,从 N 射出,粒子从 M 到 N 的过程中,始终在环形区域中运动,且所用的时间最少,求粒子在 Q 时速度 v_0 的大小。



7. 如图所示,在坐标系 xOy 内有一半径为 a 的圆形区域,圆心坐标为 $O_1(a,0)$,圆内分布有垂直纸面向里的匀强磁场。在直线 $y=a$ 的上方和直线 $x=2a$ 的左侧区域内,有一沿 y 轴负方向的匀强电场,场强大小为 E。一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子以速度 v 从 O 点垂直于磁场方向射入,当入射速度方向沿 x 轴正方向时,粒子恰好从 O_1 点正上方的 A 点射出磁场,不计粒子重力,求:

(1)磁感应强度 B 的大小;

(2)若粒子以速度 v 从 O 点垂直于磁场方向,并与 x 轴正方向夹角 $\theta=30°$射入第一象限,求粒子在磁场中运动的总时间。

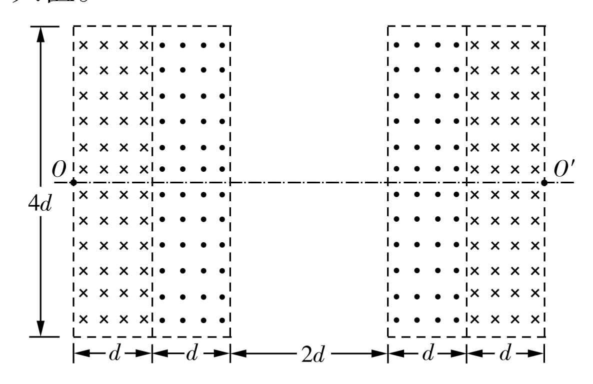


8. 如图所示，真空中四个相同的矩形匀强磁场区域，高为 $4d$，宽为 d，中间两个磁场区域间隔为 $2d$，中轴线与磁场区域两侧相交于 O、O'点，各区域磁感应强度大小相等。某粒子质量为 m、电荷量为 $+q$，从 O 沿轴线射入磁场。当入射速度为 v_0 时，粒子从 O 上方 $\frac{d}{2}$ 处射出磁场。取 $\sin 53° = 0.8$，$\cos 53° = 0.6$。

(1) 求磁感应强度大小 B；

(2) 入射速度为 $5v_0$ 时，求粒子从 O 运动到 O'的时间 t；

(3) 入射速度仍为$5v_0$，通过沿轴线 OO'平移中间两个磁场（磁场不重叠），可使粒子从 O 运动到 O'的时间增加 Δt，求 Δt 的最大值。

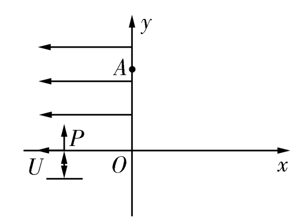


9. 如图所示，在平面直角坐标系 xOy 的第一象限内存在垂直于坐标平面的匀强磁场（未画出），第二象限内存在水平向左的匀强电场。质量为 m、电荷量为 $-q$ 的带电粒子从第三象限无初速度释放后，经电压为 U 的电场加速后从 $P(-\sqrt{3}L,0)$ 点垂直 x 轴进入第二象限，然后从 $A(0,2L)$ 点进入第一象限，又经磁场偏转后由 x 轴上的 F 点（图中未画出）垂直于 x 轴进入第四象限。不计粒子重力。

(1) 求第二象限内电场强度的大小；

(2) 若第一象限各处均分布有匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，求 F 点坐标；

(3) 若第一象限内的匀强磁场分布在某矩形区域内，磁场方向垂直纸面向外，求此矩形区域的最小面积。



1.9　专题四：复合场

知识清单

带电粒子在复合场（叠加场）中的运动问题的处理方法

1. 洛伦兹力、重力并存

(1)若重力和洛伦兹力平衡，则带电粒子做匀速直线运动。

(2)若重力和洛伦兹力不平衡，则带电粒子将做复杂的曲线运动，因洛伦兹力不做功，故机械能守恒，由此可求解问题。

2. 电场力、洛伦兹力并存(不计重力的微观粒子)

(1)若电场力和洛伦兹力平衡，则带电粒子做匀速直线运动。

(2)若电场力和洛伦兹力不平衡，则带电粒子将做复杂的曲线运动，因洛伦兹力不做功，可用动能定理求解问题。

3. 电场力、洛伦兹力、重力并存

(1)若三力平衡，则带电粒子一定做匀速直线运动。

(2)若重力与电场力平衡，则带电粒子一定做匀速圆周运动。

(3)若合力不为零且与速度方向不垂直，则带电粒子将做复杂的曲线运动，因洛伦兹力不做功，可用能量守恒或动能定理求解问题。

课堂笔记

典型例题

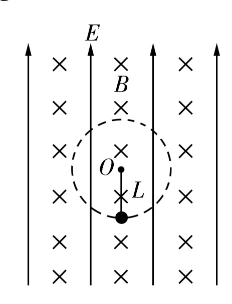
【例 1】如图所示，空间中存在着水平向右的匀强电场，电场强度大小为 $E=5\sqrt{3}$ N/C，同时存在着水平方向的匀强磁场，其方向与电场方向垂直，磁感应强度大小 $B=0.5$ T。有一带正电的小球，质量 $m=1\times10^{-6}$ kg，电荷量 $q=2\times10^{-6}$ C，正以速度 v 在图示的竖直面内做匀速直线运动，当经过 P 点时撤掉磁场（不考虑磁场消失引起的电磁感应现象），$g=10\ \text{m/s}^2$。求：

(1)小球做匀速直线运动的速度 v 的大小和方向；

(2)从撤掉磁场到小球再次穿过 P 点所在的这条电场线经历的时间。

B　P　E

【例2】（多选）如图所示，空间存在竖直向上、大小为 E 的匀强电场和沿水平方向、垂直于纸面向里、大小为 B 的匀强磁场，一个质量为 m 的带电小球（可视为质点）用长为 L 的绝缘细线吊着悬于 O 点，给小球一个水平方向的初速度，小球在竖直面内做匀速圆周运动，细线张力不为零；某时刻细线断开，小球仍做半径为 L 的匀速圆周运动，重力加速度为 g，则（　　）



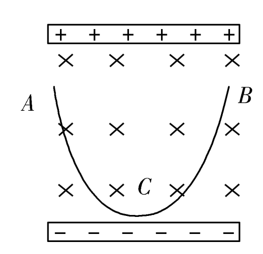
A. 细线未断时，小球沿顺时针方向运动

B. 小球的带电量为$\frac{mg}{E}$

C. 小球运动的速度大小为$\frac{2BLg}{E}$

D. 细线未断时，细线的拉力大小为$\frac{2mLg^2B^2}{E^2}$

【例3】如图所示，带等量异种电荷的平行板之间，存在着垂直纸面向里的匀强磁场，一带电粒子在电场力和洛伦兹力的作用下，从静止开始自 A 点沿曲线 ACB 运动，到达 B 点时速度为零，C 点是曲线的最低点，不计重力，下列说法正确的是（　　）



A. 这个粒子带负电荷

B. A 点和 B 点必定位于同一水平面上

C. 在 C 点洛伦兹力等于电场力

D. 粒子达到 B 点后将沿曲线返回 A 点

课后训练

1. 空间某区域同时存在匀强磁场和匀强电场。一个带电粒子（不计重力）以一定初速度射入该空间后，做匀速直线运动。若仅撤除电场，则该粒子做匀速圆周运动。下列因素与完成上述两类运动无关的是（　　）

A. 磁场和电场的方向

B. 磁场和电场的强弱

C. 粒子的电性和电量

D. 粒子入射时的速度

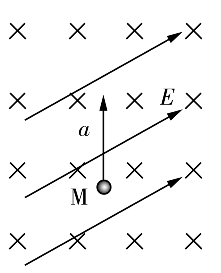
2. 如图，空间某区域同时存在匀强电场和匀强磁场，电场方向竖直向上（与纸面平行），磁场方向垂直于纸面向里。三个带正电的微粒 a、b、c 电荷量相等，质量分别为 m_a、m_b、m_c。已知在该区域内，a 在纸面内做匀速圆周运动，b 在纸面内向右做匀速直线运动，c 在纸面内向左做匀速直线运动。下列选项正确的是（　　）

左 × × × × × 右

A. $m_a > m_b > m_c$　　B. $m_b > m_a > m_c$

C. $m_c > m_a > m_b$　　D. $m_c > m_b > m_a$

3. 电场强度为 E 的匀强电场方向斜向右上与水平方向成 30°角，匀强磁场与匀强电场垂直，磁感应强度大小为 B，方向如图所示。一带电小球 M 竖直向上做直线运动，该小球运动的速度大小为（　　）



A. $\frac{E}{2B}$　　　　B. $\frac{\sqrt{3}E}{2B}$

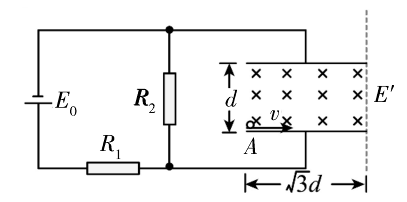
C. $\frac{2\sqrt{3}E}{3B}$　　　　D. $\frac{2E}{B}$

4. 如图,两个定值电阻阻值分别为 R_1 和 R_2,直流电源的内阻不计,平行板电容器两极板水平放置,板间距离为 d,板长为$\sqrt{3}d$,极板间存在方向水平向里的匀强磁场。质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的小球以初速度 v 沿水平方向从电容器下板左侧边缘 A 点进入电容器,做匀速圆周运动,恰从电容器上板右侧边缘离开电容器。此过程中,小球未与极板发生碰撞,重力加速度大小为 g,忽略空气阻力。

(1)求直流电源的电动势 E_0;

(2)求两极板间磁场的磁感应强度 B;

(3)在图中虚线的右侧设计一匀强电场,使小球离开电容器后沿直线运动,求电场强度的最小值 E'。

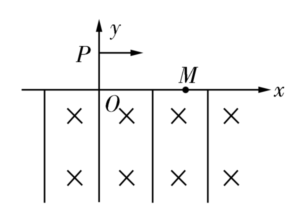


5. 如图所示,直角坐标系 xOy 位于竖直平面内,在水平 x 轴下方区域存在范围足够大的匀强磁场和匀强电场,磁场方向垂直 xOy 平面向里,电场方向平行于 y 轴。一质量为 m、电荷量为 $-q$ 的小球(可视为质点),从 y 轴上 P 点水平向右抛出,经 x 轴上 M 点进入电场和磁场,恰好能做匀速圆周运动,且恰好从坐标原点 O 第一次离开电场和磁场。已知 P 点坐标为$(0,h)$,M 点坐标为$(2h,0)$,不计空气阻力,重力加速度为 g,求:

(1)小球第一次到达 M 点时的速度;

(2)电场强度 E 的大小和方向;

(3)磁感应强度大小 B。

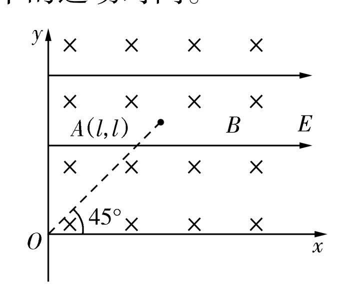


6. 如图,在竖直平面内建立直角坐标系 xOy,其第一象限存在着正交的匀强电场和匀强磁场,电场强度的方向水平向右,磁感应强度的方向垂直纸面向里。一带电荷量为 $+q$、质量为 m 的微粒从原点出发沿与 x 轴正方向的夹角为45°的初速度进入复合场中,正好做直线运动,当微粒运动到 A 点 (l,l) 时,电场方向突然变为竖直向上(不计电场变化的时间),粒子继续运动一段时间后,正好垂直于 y 轴穿出复合场。重力加速度为 g,不计一切阻力,求:

(1)电场强度 E 的大小;

(2)磁感应强度 B 的大小;

(3)粒子在复合场中的运动时间。

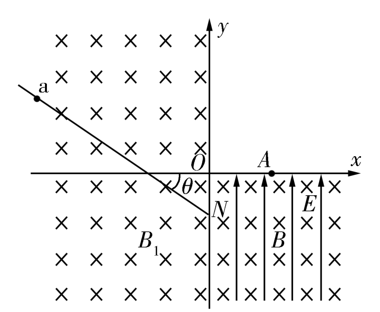


7. 如图所示,竖直平面内有一直角坐标系 xOy,x 轴沿水平方向,第二、三象限有垂直于坐标平面向里的匀强磁场,与 x 轴成 $\theta=30°$ 角的绝缘细杆固定在二、三象限。第四象限同时存在着竖直向上的匀强电场和垂直于坐标平面向里的匀强磁场,电场强度大小 $E=\dfrac{mg}{q}$,磁感应强度大小为 $B=\dfrac{m}{q}\sqrt{\dfrac{3g}{l}}$。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球 a(可视为质点)穿在细杆上沿细杆下滑,小球在到达 N 点前已经做匀速运动,在 N 点脱离细杆后恰能运动到 x 轴上的 A 点,且速度方向垂直于 x 轴。已知 A 点到坐标原点 O 的距离为 $\dfrac{3}{2}l$,小球 a 与绝缘细杆的动摩擦因数 $\mu=\dfrac{\sqrt{3}}{5}$,重力加速度为 g,空气阻力忽略不计。求:

(1)小球到达 N 点时的速度大小;

(2)小球从离开 N 点开始到第二次经过 x 轴的时间;

(3)第二、三象限匀强磁场磁感应强度大小。

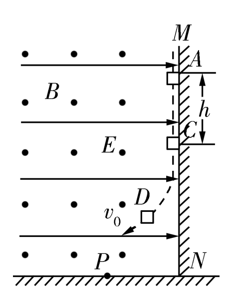


8. 如图，绝缘粗糙的竖直平面 MN 左侧同时存在相互垂直的匀强电场和匀强磁场，电场方向水平向右，电场强度大小为 E，磁场方向垂直纸面向外，磁感应强度大小为 B。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电的小滑块从 A 点由静止开始沿 MN 下滑，到达 C 点时离开 MN 做曲线运动。A、C 两点间距离为 h，重力加速度为 g。

(1)求小滑块运动到 C 点时的速度大小；

(2)求小滑块从 A 点运动到 C 点过程中克服摩擦力做的功；

(3)若 D 点为小滑块在电场力、洛伦兹力及重力作用下运动过程中速度最大的位置。当小滑块运动到 D 点时撤去磁场，此后小滑块继续运动到水平地面上的 P 点。已知小滑块在 D 点时的速度大小为 v_D，从 D 点运动到 P 点的时间为 t，求小滑块运动到 P 点时速度的大小 v_P。



1.10　专题五：周期性与多解问题

知识清单

周期性与多解问题解题思路

1. 分析在一个周期内粒子的运动情况，明确运动性质，判断周期性变化的电场或磁场对粒子运动的影响。
2. 能够画出粒子运动轨迹，分析轨迹在几何关系方面的周期性。
3. 带电粒子在交变电磁场中的运动问题的解题基本步骤：

(1)先读图：看清并明白场的变化情况。

(2)受力分析：分析粒子在不同的变化场区的受力情况。

(3)过程分析：分析粒子在不同时间内的运动情况。

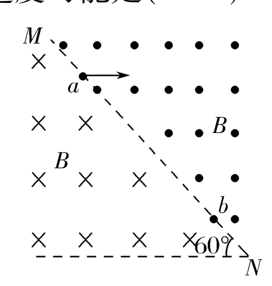
(4)建模：粒子在不同运动阶段，建立不同的运动模型。

(5)找衔接点：找出衔接相邻两过程的物理量。

课堂笔记

典型例题

【例1】(多选)如图所示,直线 MN 与水平方向成60°角,MN 的右上方存在垂直纸面向外的匀强磁场,左下方存在垂直纸面向里的匀强磁场,两磁场的磁感应强度大小均为 B。一粒子源位于 MN 上的 a 点,能水平向右发射不同速率、质量为 m(重力不计)、电荷量为 $q(q>0)$ 的同种粒子,所有粒子均能通过 MN 上的 b 点。已知 $ab=L$,则粒子的速度可能是( )



A. $\frac{\sqrt{3}qBL}{6m}$ B. $\frac{\sqrt{3}qBL}{3m}$

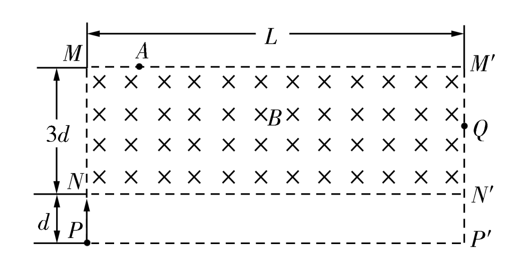
C. $\frac{\sqrt{3}qBL}{2m}$ D. $\frac{\sqrt{3}qBL}{m}$

【例2】如图所示,NN' 下方矩形区域 $PP'N'N$ 充满方向竖直向下的匀强电场(未画出),宽度为 d;矩形区域 $NN'M'M$ 充满垂直纸面向里的匀强磁场,磁感应强度为 B,长为 L(L 大小未知),宽为 $3d$;NN' 为磁场与电场的分界线。一个电荷量为 e、质量为 m、初速度为0的电子,从 P 点开始经电场加速后垂直进入磁场。不计电子所受重力。

(1)若电子从 MM' 边界上的 A 点射出磁场,已知 $MA=d$,求加速电场 E_1 的大小;

(2)若加速电场 $E_2=\frac{2eB^2d}{m}$、磁场长 $L=7.2d$,求电子射出磁场时离 N' 点的距离;

(3)若加速电场 $E_2=\frac{2eB^2d}{m}$,电子最后从 Q 点射出磁场,已知 $QN'=\sqrt{3}d$,求电子从 P 到 Q 的运动时间。



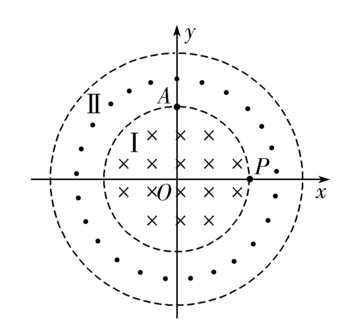
【例3】如图所示为一磁约束装置的原理图,两同心圆的圆心 O 与 xOy 平面坐标系原点重合。半径为 R_0 的圆形区域Ⅰ内有方向垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场。一束质量为 m、电荷量为 q、动能为 E_0 的带正电粒子从坐标为 $(0,R_0)$ 的 A 点沿 y 轴负方向射入磁场区域Ⅰ,粒子全部经过坐标为 $(R_0,0)$ 的 P 点,方向沿 x 轴正方向。当在环形区域Ⅱ加上方向垂直于 xOy 平面向外的另一匀强磁场时,上述粒子仍从 A 点沿 y 轴负方向射入区域Ⅰ,所有粒子恰好能够约束在环形区域内,且经过环形区域Ⅱ的磁场偏转后第一次沿半径方向从区域Ⅱ射入区域Ⅰ时经过内圆周上的 M 点(M 点未画出)。不计重力和粒子间的相互作用。

(1)求区域Ⅰ中磁感应强度 B_1 的大小;

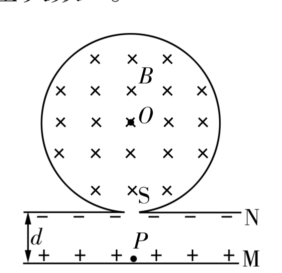
(2)若环形区域Ⅱ中磁感应强度 $B_2=$

$\sqrt{3}B_1$，求 M 点坐标及环形外圆半径 R；

(3)求粒子从 A 点沿 y 轴负方向射入圆形区域Ⅰ至再次以相同速度经过 A 点的过程所通过的总路程。



(3)保持 M、N 间电场强度 E 不变，仅将 M 板向上平移 $\frac{2}{3}d$，粒子仍从 M 板边缘的 P 处由静止释放，粒子自进入圆筒至从 S 孔射出期间，与圆筒的碰撞次数 n。



课后训练

1. 一圆筒的横截面如图所示，其圆心为 O。筒内有垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B。圆筒下面有相距为 d 的平行金属板 M、N，其中 M 板带正电荷，N 板带等量负电荷。质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子自 M 板边缘的 P 处由静止释放，经 N 板的小孔 S 以速度 v 沿半径方向射入磁场中。粒子与圆筒发生两次碰撞后仍从 S 孔射出，设粒子与圆筒碰撞过程中没有动能损失，且电荷量保持不变，在不计重力的情况下，求：

(1)M、N 间电场强度 E 的大小；

(2)圆筒的半径 R；

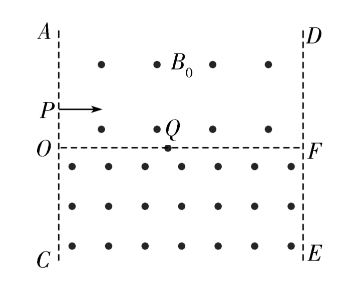
2. 如图所示，在无限长的竖直边界 AC 和 DE 间，上、下部分分别充满方向垂直于平面 $ADEC$ 向外的匀强磁场。上部分区域的磁感应强度大小为 B_0，OF 为上、下磁场的水平分界线。质量为 m、带电荷量为 $+q$ 的粒子从 AC 边界上与 O 点相距为 a 的 P 点垂直于 AC 边界射入上方磁场区域，经 OF 上的 Q 点第一次进入下方磁场区域，Q 与 O 点的距离为 $3a$。不考虑粒子重力。

(1)求粒子射入时的速度大小；

(2)要使粒子不从 AC 边界飞出，写出下方磁场区域的磁感应强度 B_1 应满足的条件；

(3)若下方区域的磁感应强度 $B=3B_0$，粒子最终垂直 DE 边界飞出，求边界 DE 与

AC 间距离的可能值。

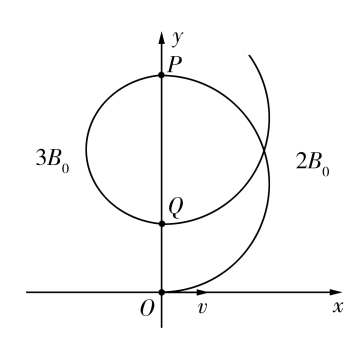


3. 空间存在两个垂直于 xOy 平面的匀强磁场，y 轴为两磁场的边界，磁感应强度分别为 $2B_0$、$3B_0$。甲、乙两种比荷不同的粒子同时从原点 O 沿 x 轴正向射入磁场，速度均为 v。甲第 1 次、第 2 次经过 y 轴的位置分别为 P、Q，其轨迹如图所示。甲经过 Q 时，乙也恰好同时经过该点。已知甲的质量为 m，电荷量为 q。不考虑粒子间的相互作用和重力影响。求：

(1) Q 到 O 的距离 d；

(2) 甲两次经过 P 点的时间间隔 Δt；

(3) 乙的比荷 $\frac{q'}{m'}$ 可能的最小值。

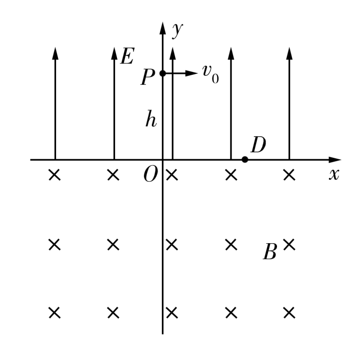


4. 如图所示的 xOy 坐标系中，$y>0$ 的区域存在沿 y 轴正方向的匀强电场，场强大小为 E，在 $y<0$ 的区域存在方向垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B。一带电粒子从 y 轴上的 P 点以速度 v_0 沿 x 轴正方向射入电场。已知粒子的质量为 m，电荷量为 $-q$，不计重力。求：

(1) 粒子从 P 射出到第一次经过 x 轴的时间；

(2) 粒子从 P 点射出后，若第一次经过 x 轴时与 x 轴交于 D 点，然后经过磁场一次后回到 P 点，求 v_0 的大小和 OD 间距离 d；

(3) 要使粒子经 $M(L,0)$ 点（图中未画出，且 $L>0$）进入磁场，求初速度 v_0 的所有可能值。

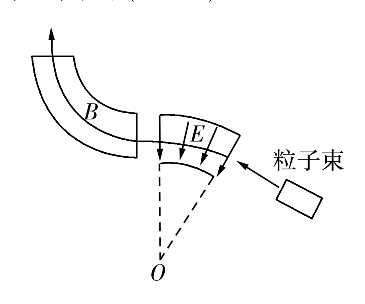


第一章　章末检测

（测试时间:90 分钟）

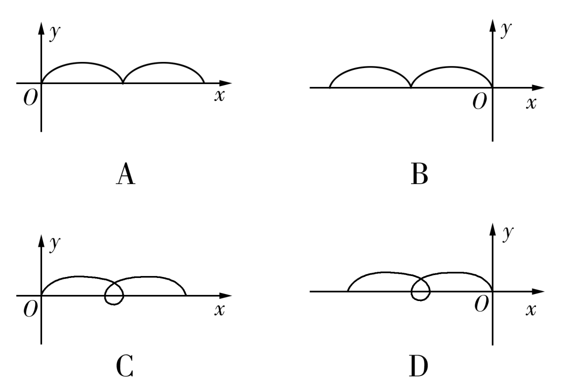
一、选择题

1. 如图所示,有一个辐向分布的电场,距离 O 点相等的地方电场强度大小相等。有一束粒子流通过电场,又垂直进入一个匀强磁场。在这个过程中运动轨迹相同的粒子,它们具有相同的(　　)

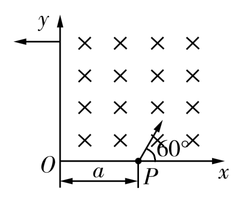


A. 质量　　B. 电量
C. 比荷　　D. 动能

2. 空间存在着匀强磁场和匀强电场,磁场的方向垂直于纸面(xOy 平面)向里,电场的方向沿 y 轴正方向。一带正电的粒子在电场和磁场的作用下,从坐标原点 O 由静止开始运动。下列描述该粒子运动轨迹的四幅图中,可能正确的是(　　)

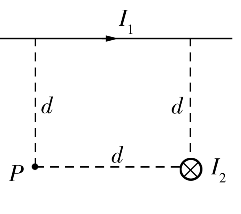


3. 如图所示,在 xOy 坐标系的第一象限内存在匀强磁场。一带电粒子在 P 点以与 x 轴正方向成 60°的方向垂直磁场射入,并恰好垂直于 y 轴射出磁场。已知带电粒子质量为 m,电荷量为 q,$OP=a$。不计重力。根据上述信息可以得出(　　)



A. 带电粒子在磁场中运动的轨迹方程
B. 带电粒子在磁场中运动的速率
C. 带电粒子在磁场中运动的时间
D. 该匀强磁场的磁感应强度

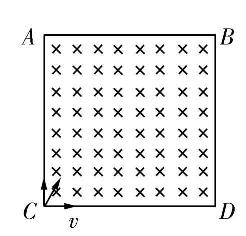
4. 如图所示,两根相距为 d 的长直导线分别通有电流 I_1、I_2,纸面内有一点 P,与两根导线的距离也为 d。已知 $I_1=I_2=I$ 时,P 点的磁感应强度大小为 B,若保持 I_1 不变,将 I_2 增大为 $3I$,则此时 P 点磁感应强度大小为(　　)



A. $5B$　　B. $2B$
C. $\sqrt{5}B$　　D. $\sqrt{10}B$

5. 如图所示,有一边长为 L 的正方形边界的匀强磁场,磁感应强度为 B,在 C 点沿纸面向四面八方以速度 $v=\frac{qBL}{m}$发射质量为 m、电荷量为 q 的带负电的同种粒子(不计粒子重力),每个方向发射的粒子数量都相同。则从 BD 边和 CD 边飞出的粒子的数

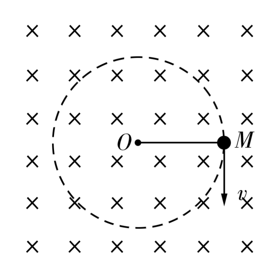
量之比为(　　)



A. 1∶1　　B. 1∶2

C. 2∶1　　D. 3∶1

6. 空间存在方向垂直纸面向里的匀强磁场。在光滑绝缘的水平桌面上,绝缘细绳系一带负电小球,小球绕绳的固定端点 O 沿顺时针方向做匀速圆周运动,如图所示。若小球运动到 M 点时,细绳突然断开,则小球可能出现的运动情况是(　　)



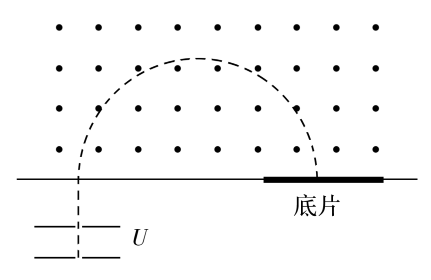
A. 小球仍沿顺时针方向做匀速圆周运动,但圆的半径变大

B. 小球仍沿顺时针方向做匀速圆周运动,但圆的半径变小

C. 小球将沿逆时针方向做匀速圆周运动,圆的半径不变

D. 小球将沿切线方向做直线运动

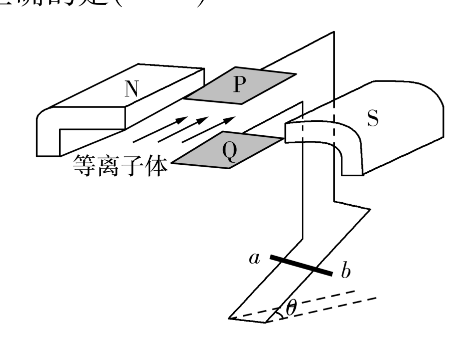
7. 质谱仪可用于分析同位素,其结构如图所示。一群质量数分别为 40 和 46 的正二价钙离子经电场加速后(初速度忽略不计),接着进入匀强磁场中,最后打在底片上。实际加速电压 U 通常不是恒定值,而是有一定范围,若加速电压取值范围是$(U-\Delta U, U+\Delta U)$,两种离子打在底片上的区域恰好不重叠,不计离子的重力和相互作用,则$\frac{\Delta U}{U}$的值约为(　　)



A. 0.07　　B. 0.10

C. 0.14　　D. 0.17

8. 如图,距离为 d 的两平行金属板 P、Q 之间有一匀强磁场,磁感应强度大小为 B_1,一束速度大小为 v 的等离子体垂直于磁场喷入板间。相距为 L 的两光滑平行金属导轨固定在与导轨平面垂直的匀强磁场中,磁感应强度大小为 B_2,导轨平面与水平面夹角为 θ,两导轨分别与 P、Q 相连。质量为 m、电阻为 R 的金属棒 ab 垂直导轨放置,恰好静止。重力加速度为 g,不计导轨电阻、板间电阻和等离子体中的粒子重力。下列说法正确的是(　　)



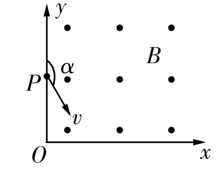
A. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上,$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

B. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下,$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

C. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上,$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$

D. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下,$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$

9.（多选）如图所示，在平面直角坐标系 xOy 的第一象限内存在垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。大量质量为 m、电量为 q 的相同粒子从 y 轴上的 $P(0,\sqrt{3}L)$ 点，以相同的速率在纸面内沿不同方向先后射入磁场，设入射速度方向与 y 轴正方向的夹角为 $\alpha(0\leqslant\alpha\leqslant180°)$。当 $\alpha=150°$时，粒子垂直 x 轴离开磁场。不计粒子的重力，则（　　）



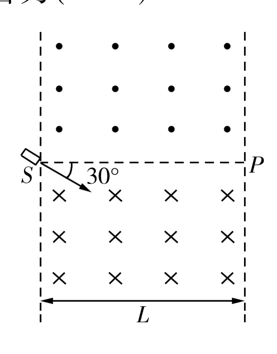
A. 粒子一定带正电

B. 当 $\alpha=45°$时，粒子也能垂直 x 轴离开磁场

C. 粒子入射速率为$\dfrac{2\sqrt{3}qBL}{m}$

D. 粒子离开磁场的位置到 O 点的最大距离为 $3\sqrt{5}L$

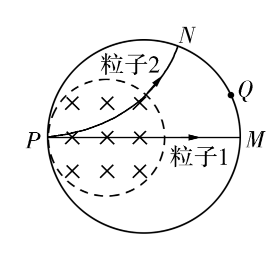
10.（多选）在如图所示的平面内，分界线 SP 将宽度为 L 的矩形区域分成两部分，一部分充满方向垂直于纸面向外的匀强磁场，另一部分充满方向垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，SP 与磁场左右边界垂直。离子源从 S 处向下方磁场射入速度大小不同的正离子，离子入射方向与磁场方向垂直且与 SP 成 30°角。已知离子比荷为 k，不计重力。若离子从 P 点射出，设出射方向与入射方向的夹角为 θ，则离子的入射速度和对应 θ 角的可能组合为（　　）



A. $\dfrac{1}{3}kBL$，0°　　B. $\dfrac{1}{2}kBL$，0°

C. kBL，60°　　D. $2kBL$，60°

11.（多选）粒子物理研究中使用的一种球状探测装置横截面的简化模型如图所示。内圆区域有垂直纸面向里的匀强磁场，外圆是探测器。两个粒子先后从 P 点沿径向射入磁场，粒子 1 沿直线通过磁场区域后打在探测器上的 M 点。粒子 2 经磁场偏转后打在探测器上的 N 点。装置内部为真空状态，忽略粒子重力及粒子间相互作用力，下列说法正确的是（　　）



A. 粒子 1 可能为中子

B. 粒子 2 可能为电子

C. 若增大磁感应强度，粒子 1 可能打在探测器上的 Q 点

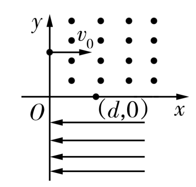
D. 若增大粒子入射速度，粒子 2 可能打在探测器上的 Q 点

二、计算题

12. 如图，在第一象限存在匀强磁场，磁感应强度方向垂直于纸面（xOy 平面）向外；在第四象限存在匀强电场，方向沿 x 轴负方向。在 y 轴正半轴上某点以与 x 轴正方向平行、大小为 v_0的速度发射出一带正电荷的粒子，该粒子在 $(d,0)$ 点沿垂直于 x 轴的方向进入电场。不计重力，若该粒子离开电场时速度方向与 y 轴负方向的夹角为 θ，求：

（1）电场强度大小与磁感应强度大小的比值；

(2)该粒子在电场中运动的时间。

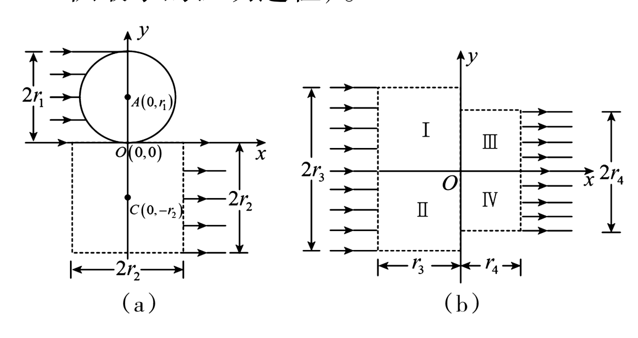


13. 带电粒子流的磁聚焦和磁控束是薄膜材料制备的关键技术之一。带电粒子流(每个粒子的质量为 m、电荷量为 $+q$)以初速度 v 垂直进入磁场,不计重力及带电粒子之间的相互作用。对处在 xOy 平面内的粒子,求解以下问题:

(1)如图(a),宽度为 $2r_1$ 的带电粒子流沿 x 轴正方向射入圆心为 $A(0,r_1)$、半径为 r_1 的圆形匀强磁场中,若带电粒子流经过磁场后都汇聚到坐标原点 O,求该磁场磁感应强度 B_1 的大小;

(2)如图(a),虚线框为边长等于 $2r_2$ 的正方形,其几何中心位于 $C(0,-r_2)$。在虚线框内设计一个区域面积最小的匀强磁场,使汇聚到 O 点的带电粒子流经过该区域后宽度变为 $2r_2$,并沿 x 轴正方向射出。求该磁场磁感应强度 B_2 的大小和方向,以及该磁场区域的面积(无须写出面积最小的证明过程);

(3)如图(b),虚线框Ⅰ和Ⅱ均为边长等于 r_3 的正方形,虚线框Ⅲ和Ⅳ均为边长等于 r_4 的正方形。在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ中分别设计一个区域面积最小的匀强磁场,使宽度为 $2r_3$ 的带电粒子流沿 x 轴正方向射入Ⅰ和Ⅱ后汇聚到坐标原点 O,再经过Ⅲ和Ⅳ后宽度变为 $2r_4$,并沿 x 轴正方向射出,从而实现带电粒子流的同轴控束。求Ⅰ和Ⅲ中磁场磁感应强度的大小,以及Ⅱ和Ⅳ中匀强磁场区域的面积(无须写出面积最小的证明过程)。



第二章　电磁感应

2.1　电磁感应现象及应用

知识清单

（一）划时代的发现

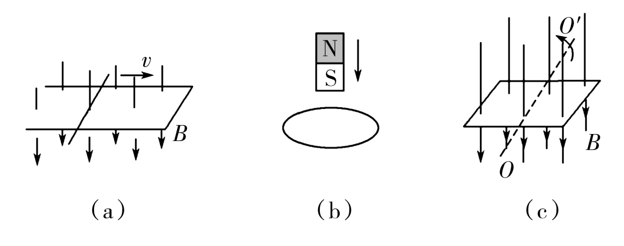
英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象，即“磁生电”现象，他把这种现象命名为电磁感应。产生的电流叫作感应电流。

（二）感应电流的产生条件

当穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时，闭合导体回路中就产生感应电流。

（三）磁通量变化的几种情况

1. 磁感应强度 B 不变，有效面积 S 发生变化，磁通量 Φ 发生变化。如图(a)所示。
2. 有效面积 S 不变，磁感应强度 B 发生变化，磁通量 Φ 发生变化。如图(b)所示。
3. 磁感应强度 B 和有效面积 S 都不变，它们之间的夹角发生变化，磁通量 Φ 发生变化。如图(c)所示。



(a)　　(b)　　(c)

4. 知识深化：注意区别 $\Delta\Phi$ 与 Φ：感应电流的产生与 Φ 无关，只取决于 Φ 的变化，即与 $\Delta\Phi$ 有关。$\Delta\Phi$ 与 Φ 的大小没有必然的联系。

（四）电磁感应现象的应用

生产、生活中广泛使用的变压器、电磁炉等也是根据电磁感应制造的。

课堂笔记

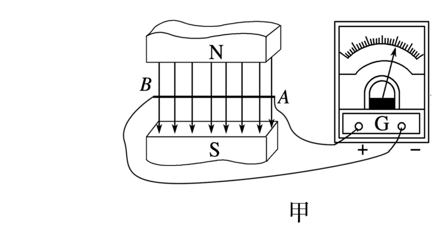
典型例题

【例 1】(1) 如图甲所示，导体 AB 做切割磁感线运动时，线路中________电流产生，而导体 AB 顺着磁感线运动时，线路中______电流产生。（均选填“有”或“无”）

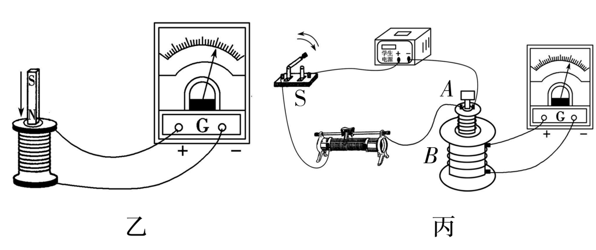
(2) 如图乙所示，当条形磁铁插入或拔出线圈时，线圈中________电流产生，但条形磁铁在线圈中静止不动时，线圈中______电流产生。（均选填“有”或“无”）

(3) 如图丙所示，将小螺线管 A 插入大螺线管 B 中不动，开关 S 闭合或断开的瞬间，电流表中________电流通过；若开关 S 一直闭合，当改变滑动变阻器的阻值时，电流表中________电流通过；而开关一直闭合，

滑动变阻器的滑动触头不动时，电流表中________电流通过。（均选填“有”或“无”）



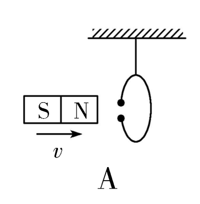
甲



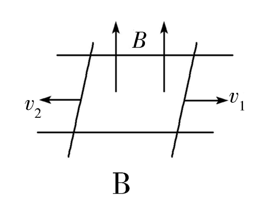
乙　　丙

思考：上述三个实验中，什么情况下产生了感应电流？产生感应电流时共同特点是什么？

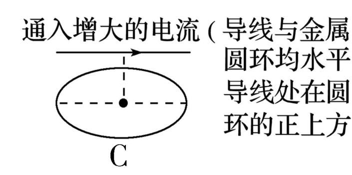
【例2】下列各图中能产生感应电流的是(　　)



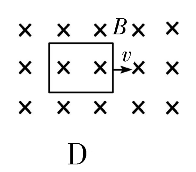
A



B



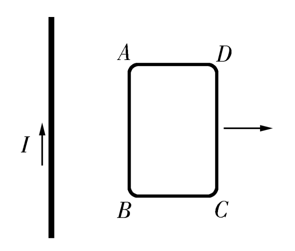
C



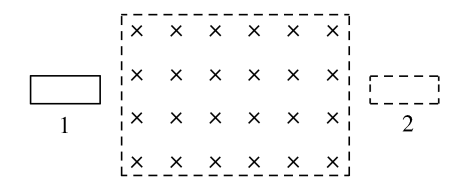
D

【例3】如图所示，矩形线圈 $ABCD$ 位于通电长直导线附近，线圈与导线在同一平面内，线圈的两个边与导线平行。在这个平面内，线圈远离导线移动时，线圈中有没有感应电流？线圈和导线都不动，当导线中的电流 I 逐渐增大或减小时，线圈中有没有感应电流？为什么？

（注意：长直导线中电流越大，它产生的磁场越强；离长直导线越远，它的磁场越弱）



【例4】如图所示，垂直于纸面的匀强磁场局限在虚线框内，闭合线圈由位置1穿过虚线框运动到位置2。线圈在运动过程中什么时候有感应电流，什么时候没有感应电流？为什么？



课后训练

1.（多选）物理学家通过艰苦的实验来探究自然规律，为人类做出了巨大贡献。下列说法符合物理学史的是(　　)

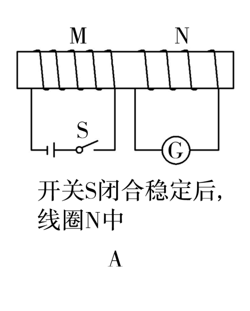
A. 通电螺线管外部的磁场与条形磁铁磁场十分相似，安培受此启发，提出了分子电流假说

B. 奥斯特发明了圆盘发电机

C. 库仑总结出了真空中的两静止点电荷间相互作用的规律

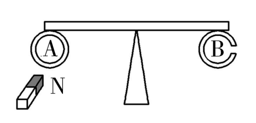
D. 法拉第发现了电磁感应现象，揭示了磁现象和电现象之间的联系

2.（多选）下列各图所描述的物理情境中，能产生感应电流的是(　　)



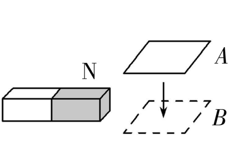
开关S闭合稳定后，线圈N中

A



磁铁向铝环A靠近，铝环A中

B



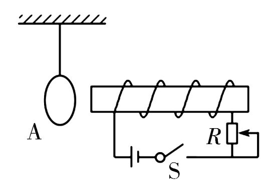
金属框从位置A向位置B运动，金属框中

C

铜盘在磁场中按图示方向转动，电阻R中

D

3.（多选）如图所示装置，在下列各种情况中，能使悬挂在螺线管附近的铜质闭合线圈A中产生感应电流的是(　　)



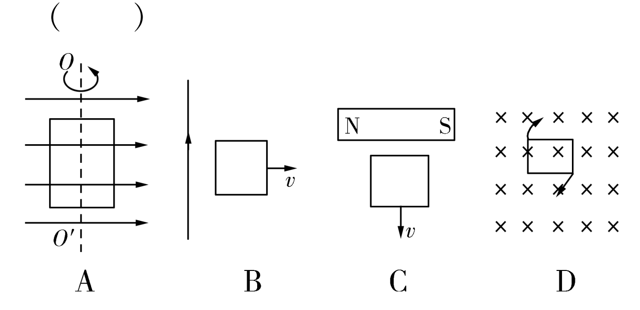
A. 开关S闭合的瞬间

B. 开关S闭合后，电路中电流稳定时

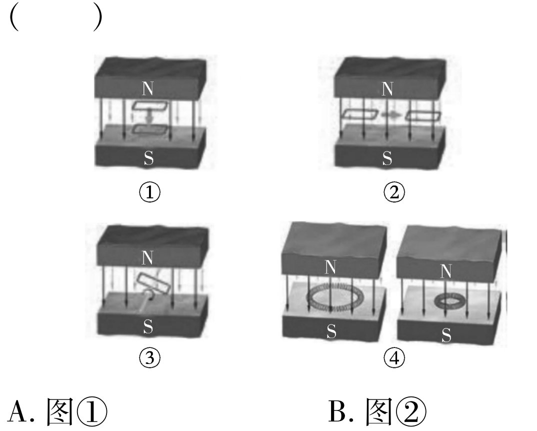
C. 开关S闭合后，滑动变阻器触头滑动的瞬间

D. 开关S断开的瞬间

4.（多选）闭合线圈按如图所示的方式在磁场中运动，能使线圈中产生感应电流的是(　　)



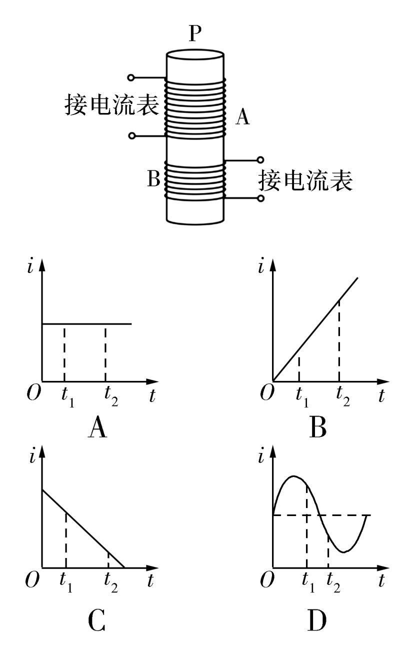
5.（多选）如图所示的匀强磁场中有一个闭合线圈。当线圈在磁场中上下运动时（图①），当线圈在磁场中左右运动时（图②），线框绕轴线转动时（图③），线圈撑开后收缩时（图④），能产生感应电流的图是(　　)



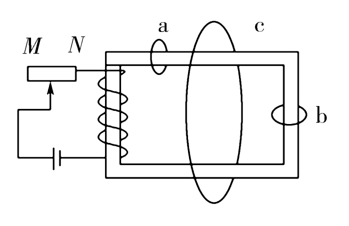
A. 图①　　B. 图②

C. 图③　　D. 图④

6.（多选）某实验装置如图所示，在铁芯P上绕着两个线圈A和B，如果线圈A中电流i与时间t的关系有如图所示的四种情况。在$t_1 \sim t_2$这段时间内，可以观察到在线圈B中有感应电流的是(　　)



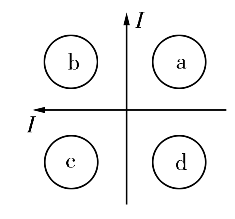
7. 在闭合铁芯上绕有一组线圈，线圈与滑动变阻器、电源构成闭合电路，假定线圈产生的磁感线全部集中在铁芯内，a、b、c三个闭合金属圆环的位置如图所示。当滑动变阻器的滑片滑动时，能产生感应电流的圆环是(　　)



A. a、b　　B. b、c

C. a、c　　D. a、b、c

8. 如图所示，水平面内有两条相互垂直且彼此绝缘的通电长直导线，以它们为坐标轴构成了一个平面直角坐标系。四个相同的圆形闭合线圈在四个象限内完全对称放置，两直导线中的电流大小与变化情况完全相同，电流方向如图所示，当两直导线中的电流都增大时，四个线圈a、b、c、d中感应电流的情况



是(　　)

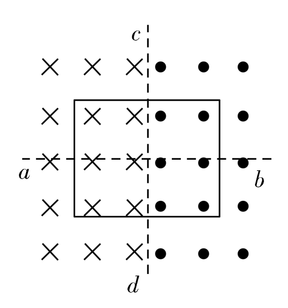
A. 线圈 a 中有感应电流

B. 线圈 b 中有感应电流

C. 线圈 c 中无感应电流

D. 线圈 d 中有感应电流

9. 如图所示，在虚线 cd 两侧分别存在磁感应强度大小相等、方向相反的匀强磁场，磁场方向均垂直于纸面，虚线 ab 在纸面内与虚线 cd 相互垂直。一矩形导线框位于纸面内，开始时矩形导线框的两条对称轴分别与虚线 ab、cd 重合，下列能使矩形导线框中产生感应电流的是(　　)



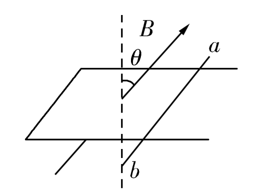
A. 将矩形导线框沿虚线 ab 移动

B. 将矩形导线框沿虚线 cd 移动

C. 将矩形导线框绕虚线 ab 转动

D. 将矩形导线框绕虚线 cd 转动

10. 如图所示，一个 U 形金属导轨水平放置，其上放有一个金属导体棒 ab，有一磁感应强度为 B 的匀强磁场斜向上穿过轨道平面，且与竖直方向的夹角为 θ。在下列各过程中，一定能在轨道回路中产生感应电流的是(　　)



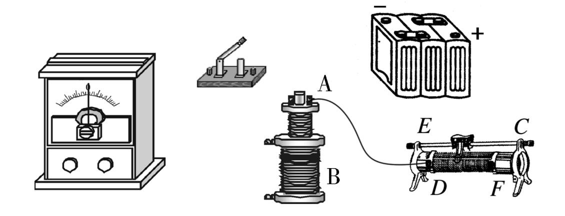
A. ab 向右运动，同时使 θ 减小

B. 使磁感应强度 B 减小，θ 角同时也减小

C. ab 向左运动，同时增大磁感应强度 B

D. ab 向右运动，同时增大磁感应强度 B 和 θ 角($0° < \theta < 90°$)

11. 在研究电磁感应现象的实验中，所用器材如图所示。它们是①电流表；②直流电源；③带铁芯的线圈 A；④线圈 B；⑤开关；⑥滑动变阻器(用来控制电流以改变磁场强弱)。试按实验的要求在实物图上连线(图中已连好一根导线)。

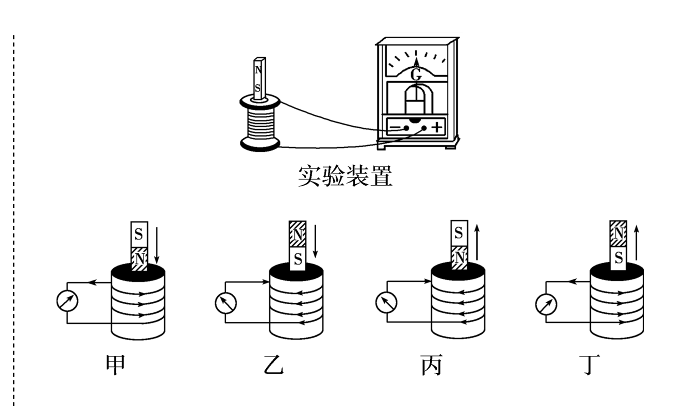


2.2.1 楞次定律

知识清单

(一)探究影响感应电流方向的因素

将螺线管与电流计组成闭合回路，分别将条形磁体的 N 极、S 极插入、拔出线圈，如图所示。



1. 线圈内磁通量增加时的情况

图号	磁体磁场的方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
甲	向下	逆时针（俯视）	向上
乙	向上	顺时针（俯视）	向下

2. 线圈内磁通量减少时的情况

图号	磁体的磁场方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
丙	向下	顺时针（俯视）	向下
丁	向上	逆时针（俯视）	向上

3. 归纳结论

当线圈内磁通量增加时，感应电流的磁场与原磁场方向相反，阻碍磁通量的增加；当线圈内磁通量减少时，感应电流的磁场与原磁场方向相同，阻碍磁通量的减少。

4. 注意事项

(1)确定电流方向与电流表指针偏转方向的关系时，要用试触法并注意减小电流强度，防止电流过大或通电时间过长损坏电流表。

(2)电流表选用零刻度线在中间的灵敏电流计。

(3)实验前设计好表格，并明确线圈的绕线方向。

(4)按照控制变量的思想进行实验。

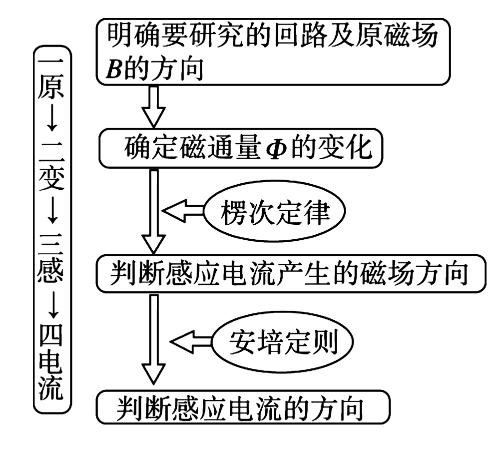
(5)完成一种操作后，等电流计指针归零后再进行下一步操作。

（二）楞次定律

1. 内容：感应电流具有这样的方向，即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

问题	结论
谁阻碍谁	感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁场（原磁场）的磁通量的变化
为何阻碍	原磁场的磁通量发生了变化
阻碍什么	阻碍的是磁通量的变化，而不是阻碍磁通量本身
如何阻碍	当原磁场的磁通量增加时，感应电流的磁场方向与原磁场的方向相反；当原磁场的磁通量减少时，感应电流的磁场方向与原磁场的方向相同，即“增反减同”
结果如何	阻碍并不是阻止，只是延缓了磁通量的变化，这种变化将继续进行，最终结果不受影响

2. 应用楞次定律的思路



3. 楞次定律与能量守恒定律的关系：感应电流沿着楞次定律所述的方向，是能量守恒的必然结果。由于电阻的存在，感应电流在闭合回路中流动时将产生热量。根据能量守恒定律，能量不可能无中生有，这部分热量只可能从电能中转化而来。把磁极插入线圈或从线圈内抽出时，推力或拉力都必须做机械功，做功过程中消耗的机械能

转化成电能。

(三)“阻碍”的表现形式

1. 从磁通量变化的角度看:感应电流的效果是阻碍磁通量的变化。
2. 从相对运动的角度看:感应电流的效果是阻碍相对运动。

(四)右手定则

1. 内容:伸开右手,使拇指与其余四个手指垂直,并且都与手掌在同一个平面内;让磁感线从掌心进入,并使大拇指指向导线运动的方向,这时四指所指的方向就是感应电流的方向。
2. 适用范围:右手定则适用于闭合回路中一部分导体做切割磁感线运动时产生感应电流的情况。

课堂笔记

典型例题

【例 1】关于楞次定律,下列说法正确的是(　　)

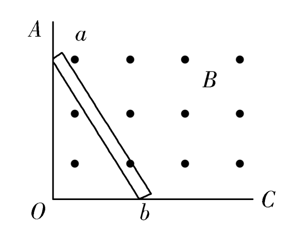
A. 感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁通量的变化

B. 感应电流的磁场总是阻止磁通量的变化

C. 原磁场穿过闭合回路的磁通量增加时,感应电流的磁场与原磁场同向

D. 感应电流的磁场总是跟原磁场反向,阻碍原磁场的变化

【例 2】如图所示,AOC 是光滑的金属导轨,AO 沿竖直方向,OC 沿水平方向。ab 是一根金属棒,当 ab 与 AO 夹角为 $30°$时,它从静止开始在重力作用下运动,运动过程中 b 端始终在 OC 上,a 端始终在 OA 上,直到金属棒 ab 完全落在 OC 上。空间存在着匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向外,则 ab 棒在上述过程中(　　)



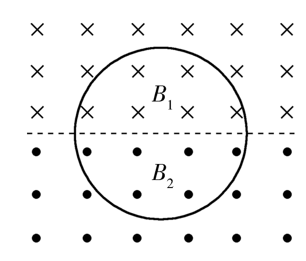
A. 感应电流方向是 $b \to a$

B. 感应电流方向是 $a \to b$

C. 感应电流方向先是 $b \to a$,后是 $a \to b$

D. 感应电流方向先是 $a \to b$,后是 $b \to a$

【例 3】如图所示,两匀强磁场的磁感应强度 B_1 和 B_2 大小相等、方向相反。金属圆环的直径与两磁场的边界重合。下列变化会在环中产生顺时针方向感应电流的是(　　)



A. 同时增大 B_1 减小 B_2

B. 同时减小 B_1 增大 B_2

C. 同时以相同的变化率增大 B_1 和 B_2

D. 同时以相同的变化率减小 B_1 和 B_2

【例 4】如图,在方向垂直于纸面向里的匀强磁场中有一 U 形金属导轨,导轨平面与磁场垂直。金属杆 PQ 置于导轨上并与导轨形成闭合回路 $PQRS$,一圆环形金属线框 T 位于回路围成的区域内,线框与导轨共面。现让金属杆 PQ 突然向右运动,在运动开始的瞬间,关于感应电流的方向,下列说法

正确的是(　　)

A. *PQRS* 中沿顺时针方向，T 中沿逆时针方向

B. *PQRS* 中沿顺时针方向，T 中沿顺时针方向

C. *PQRS* 中沿逆时针方向，T 中沿逆时针方向

D. *PQRS* 中沿逆时针方向，T 中沿顺时针方向

课后训练

1. 关于楞次定律，下列说法正确的是(　　)

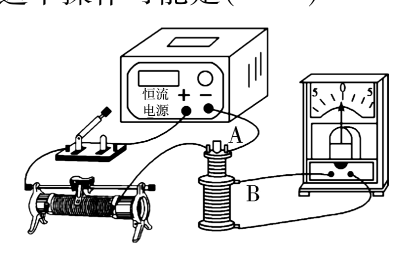
A. 感应电流的磁场总是阻碍原磁场的增强

B. 感应电流的磁场总是阻碍原磁场的减弱

C. 感应电流的磁场总是阻碍原磁场的变化

D. 感应电流的磁场总是阻碍原磁通量的变化

2. (多选)某同学为了探究感应电流产生的条件，做了以下实验。如图所示，线圈 A 通过变阻器和开关连接到直流电源上，线圈 B 的两端连接到电流表上，把线圈 A 放在线圈 B 的里面，当合上开关瞬间，发现电流表指针向右偏了一下后回到中间位置。继续进行下一步操作时，发现指针向左偏转，则这个操作可能是(　　)



A. 将电源电压增大

B. 将开关断开

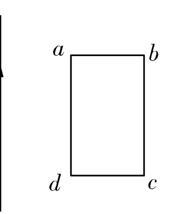
C. 将线圈 A 拔出

D. 将变阻器滑片向右滑动

3. (多选)闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动，如图所示，能正确表示磁感应强度 B 的方向、导体运动速度方向与产生的感应电流方向间关系的是(　　)

A　　B　　C　　D

4. 矩形线圈 $abcd$ 位于通电长导线附近，线圈与导线在同一平面内，线圈的两个边与导线平行，长导线中已通如图所示的电流，为使线圈中产生逆时针方向的感应电流，则可采用的措施是(　　)



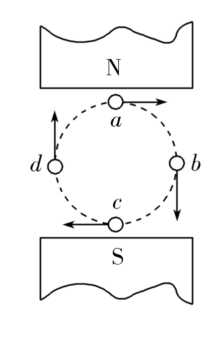
A. 将线圈水平向右移动

B. 将线圈竖直向上移动

C. 增大导线中的电流

D. 以 ab 为轴将线圈转动 90°

5. 如图为闭合电路的一部分导体在磁极间运动的情形。图中导体垂直于纸面，a、b、c、d 分别表示导体运动中的四个不同位置，箭头表示导体在对应位置上的运动方向。导体在某个位置时，导体中感应电流的方向为垂直于纸面向里，则此时导体的位置是(　　)

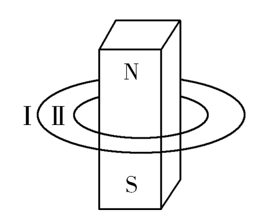


A. a　　　　B. b

C. c　　　　D. d

6. 如图所示，若套在条形磁铁上的弹性金属导线圈Ⅰ突然缩小为导线圈Ⅱ，则关于导

线圈中的感应电流及其方向（从上往下看）是（　　）



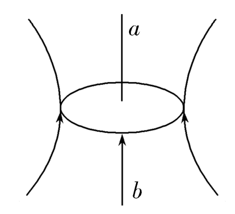
A. 有顺时针方向的感应电流

B. 有逆时针方向的感应电流

C. 有先逆时针后顺时针方向的感应电流

D. 无感应电流

7. 某磁场的磁感线如图所示，有一铜线圈自图示 a 处落至 b 处。在下落过程中，自上向下看，线圈中的感应电流方向是（　　）



A. 始终顺时针

B. 始终逆时针

C. 先顺时针再逆时针

D. 先逆时针再顺时针

8. MN、GH 为光滑的水平平行金属导轨，ab、cd 为跨在导轨上的两根金属杆，匀强磁场垂直穿过 MN、GH 所在的平面，如图所示，则（　　）

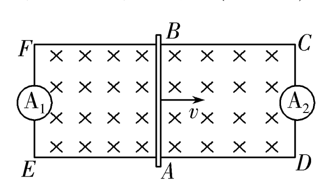
A. 若固定 ab，使 cd 向右滑动，则回路中电流方向为 $a\to b\to d\to c$

B. 若 ab 向左、cd 向右同时运动，则回路中电流为零

C. 若 ab、cd 以相同的速度一起向右滑动，则回路中电流方向为 $c\to d\to b\to a$

D. 若 ab、cd 都向右运动，且两杆速度 $v_{cd}>v_{ab}$，则回路中电流方向为 $c\to d\to b\to a$

9. 如图所示，$CDEF$ 是一个矩形金属框，当导体棒 AB 向右移动时，回路中会产生感应电流，下列说法正确的是（　　）



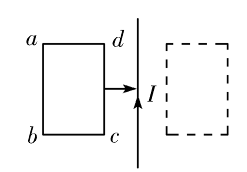
A. 导体棒中的电流方向由 $B\to A$

B. 电流表 A_1 中的电流方向由 $F\to E$

C. 电流表 A_1 中的电流方向由 $E\to F$

D. 电流表 A_2 中的电流方向由 $D\to C$

10. 如图所示，导体线圈 $abcd$ 与直导线在同一平面内。直导线通有恒定电流 I，在线圈由左向右匀速通过直导线的过程中，线圈中感应电流的方向是（　　）



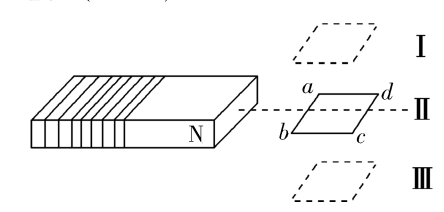
A. 先 $abcda$，再 $dcbad$，后 $abcda$

B. 先 $abcda$，再 $dcbad$

C. 先 $dcbad$，再 $abcda$，后 $dcbad$

D. 一直 $dcbad$

11. 如图所示，一水平放置的矩形闭合线框 $abcd$，在细长磁铁的 N 极附近竖直下落，保持 bc 边在纸外，ad 边在纸内，从图中所示的位置Ⅰ经过位置Ⅱ到位置Ⅲ，位置Ⅰ和Ⅲ都很靠近Ⅱ。在这个过程中，线圈中感应电流（　　）



A. 沿 $abcda$ 流动

B. 沿 $dcbad$ 流动

C. 由Ⅰ到Ⅱ是沿 $abcda$ 流动，由Ⅱ到Ⅲ是沿 $dcbad$ 流动

D. 由Ⅰ到Ⅱ是沿 $dcbad$ 流动，由Ⅱ到Ⅲ是沿 $abcda$ 流动

2.2.2　楞次定律的应用

知识清单

（一）楞次定律的重要结论

1. 阻碍相对运动——来拒去留：由于磁场与导体的相对运动产生电磁感应现象时，产生的感应电流与磁场间有力的作用，这种力的作用会阻碍相对运动。

2. 阻碍原磁通量的变化——增反减同：感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量（原磁场磁通量）的变化。

当原磁场磁通量增加时，感应电流的磁场方向与原磁场方向相反；当原磁场磁通量减少时，感应电流的磁场方向与原磁场方向相同。

（二）“三定则一定律”的综合应用

	安培定则	左手定则	右手定则	楞次定律
适用场合	判断电流周围的磁感线方向	判断通电导线在磁场中所受的安培力方向	判断导体切割磁感线时产生的感应电流方向	判断回路中磁通量变化时产生的感应电流方向

注意：综合运用这几个规律的关键是分清各个规律的适用场合，不能混淆。

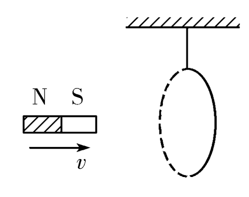
（三）能量的角度理解楞次定律

感应电流的产生并不是创造了能量。导体做切割磁感线运动时，产生感应电流，感应电流受到安培力作用，导体克服安培力做功从而实现其他形式的能向电能的转化，所以楞次定律的“阻碍”是能量转化和守恒的体现。

课堂笔记

典型例题

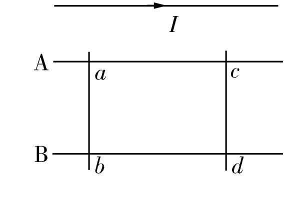
【例 1】如图所示，当磁铁突然向铜环运动时，铜环的运动情况是（　　）



A. 向右摆动　　　　B. 向左摆动

C. 静止　　　　　　D. 无法判定

【例 2】如图所示，在载流直导线旁固定有两平行光滑导轨 A、B，导轨与直导线平行且在同一水平面内，在导轨上有两个可自由滑动的导体 ab 和 cd。当载流直导线中的电流逐渐增大时，导体 ab 和 cd 的运动情



况是(　　)

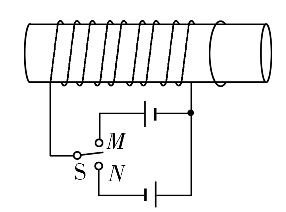
A. 一起向左运动

B. 一起向右运动

C. ab 和 cd 相向运动,相互靠近

D. ab 和 cd 相背运动,相互远离

【例 3】如图,水平放置的圆柱形光滑玻璃棒左边绕有一线圈,右边套有一金属圆环。圆环初始时静止。将图中开关 S 由断开状态拨至连接状态,电路接通的瞬间,可观察到(　　)



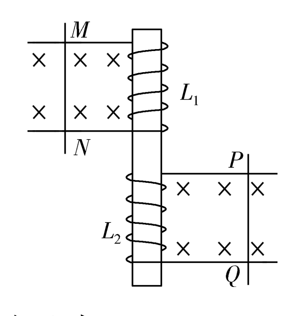
A. 拨至 M 端或 N 端,圆环都向左运动

B. 拨至 M 端或 N 端,圆环都向右运动

C. 拨至 M 端时圆环向左运动,拨至 N 端时向右运动

D. 拨至 M 端时圆环向右运动,拨至 N 端时向左运动

【例 4】(多选)如图所示,水平放置的两条光滑轨道上有可自由移动的金属棒 PQ、MN,当 PQ 在外力的作用下运动时,MN 在磁场力的作用下向右运动,则 PQ 所做的运动可能是(导体切割磁感线的速度越大,感应电流越大)(　　)



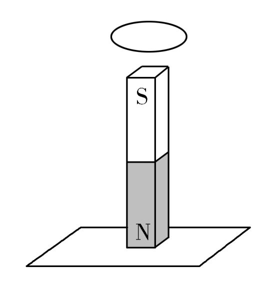
A. 向右加速运动

B. 向左加速运动

C. 向右减速运动

D. 向左减速运动

【例 5】如图所示,铜质金属环从条形磁铁的正上方由静止开始水平下落。在下落过程中,下列说法正确的是(　　)



A. 金属环在下落过程中机械能守恒

B. 金属环在下落过程中动能的增加量小于其重力势能的减少量

C. 金属环的机械能先减小后增大

D. 磁铁对桌面的压力始终等于其自身的重力

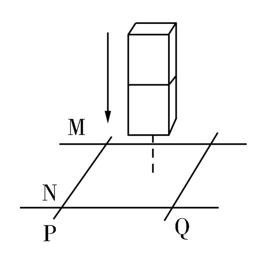
课后训练

1. 楞次定律是下列哪个定律在电磁感应现象中的具体体现?(　　)

A. 电阻定律　　　　B. 库仑定律

C. 欧姆定律　　　　D. 能量守恒定律

2. (多选)如图所示,固定的光滑金属导轨 M、N 水平放置,两根导体棒 P、Q 平行放置在导轨上,形成一个闭合回路,一条形磁铁从高处下落至接近回路时(　　)



A. P、Q 将相互靠拢

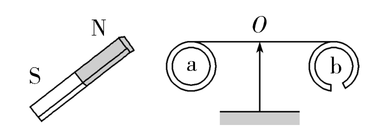
B. P、Q 将相互远离

C. 磁铁的加速度仍为 g

D. 磁铁的加速度小于 g

3. 如图所示,有两个很轻的铝环 a、b,a 环闭合,b 环不闭合,a、b 环都固定在一根可以绕 O 点自由转动的水平细杆上,此时整个

装置静止。下列说法正确的是(　　)



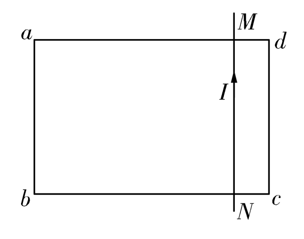
A. 条形磁铁 N 极垂直于 a 环靠近 a,a 环将靠近磁铁

B. 条形磁铁 S 极垂直于 a 环远离 a,a 环将不动

C. 条形磁铁 N 极垂直于 b 环靠近 b,b 环将靠近磁铁

D. 条形磁铁 S 极垂直于 a 环靠近 a,a 环将远离磁铁

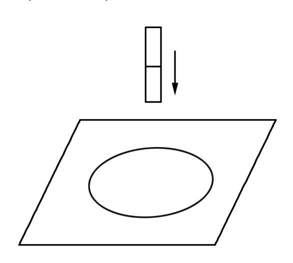
4. 如图所示,MN 是一根固定在光滑水平面上的通电细长直导线,电流方向如图所示。现将一矩形金属线框 $abcd$ 放在导线上,ab 边平行于 MN,让线框的位置偏向导线的左边,两者彼此绝缘。当导线上的电流突然增大时,线框整个受力为(　　)



A. 受力向右　　B. 受力向左

C. 受力向上　　D. 受力为零

5. 如图所示,水平桌面上放有一个闭合铝环,在铝环中心轴线上方有一个条形磁铁。当条形磁铁沿轴线竖直自由落下时,下列说法正确的是(　　)



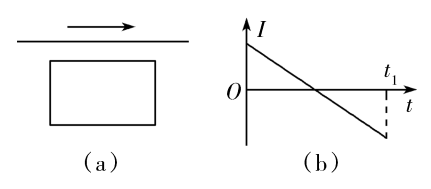
A. 铝环有收缩趋势,对桌面压力减小

B. 铝环有收缩趋势,对桌面压力增大

C. 铝环有扩张趋势,对桌面压力减小

D. 铝环有扩张趋势,对桌面压力增大

6. 如图(a)所示,一根直导线和一个矩形导线框固定在同一竖直平面内,直导线在导线框上方,规定图(a)中箭头方向为电流的正方向。直导线中通以如图(b)所示的电流,则在 $0\sim t_1$ 时间内,导线框中感应电流的方向(　　)



A. 先顺时针后逆时针

B. 先逆时针后顺时针

C. 始终沿顺时针

D. 始终沿逆时针

7. (多选)如图所示,匀强磁场垂直于软导线回路平面,由于磁场发生变化,回路变为圆形,则磁场可能(　　)

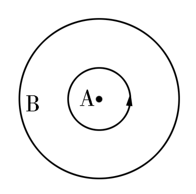
A. 逐渐增强,方向向外

B. 逐渐增强,方向向里

C. 逐渐减弱,方向向外

D. 逐渐减弱,方向向里

8. (多选)如图所示,线圈 A、B 同心置于光滑水平桌面上,线圈 A 中通有逐渐增大的逆时针方向的电流,则(　　)



A. 线圈 B 将顺时针转动起来

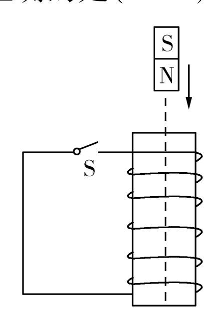
B. 线圈 B 中有顺时针方向的电流

C. 线圈 B 将有沿半径方向扩张的趋势

D. 线圈 B 对桌面的压力将增大

9. 如图所示,条形磁铁从高 h 处自由下落,中途穿过一个固定的空心线圈,开关 S 断开时,至落地用时 t_1,落地时速度为 v_1;S 闭合时,至落地用时 t_2,落地时速度为 v_2。它们

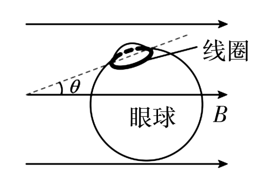
的大小关系正确的是(　　)



A. $t_1 > t_2, v_1 > v_2$　　B. $t_1 = t_2, v_1 = v_2$

C. $t_1 < t_2, v_1 < v_2$　　D. $t_1 < t_2, v_1 > v_2$

10. 某眼动仪可以根据其微型线圈在磁场中随眼球运动时所产生的电流来追踪眼球的运动。若该眼动仪线圈平面最初与磁场夹角为θ(如图所示)，经过时间t后线圈平面经平行于磁场位置顺时针转动至下方与磁场夹角为θ处，则在这段时间内，线圈中产生的感应电流的方向(从上往下看)为(　　)



A. 逆时针

B. 顺时针

C. 先逆时针，再顺时针

D. 先顺时针，再逆时针

2.3　法拉第电磁感应定律

知识清单

(一)感应电动势

1. 定义：在电磁感应现象中产生的电动势叫作感应电动势。
2. 产生条件：不管电路是否闭合，只要穿过闭合回路的磁通量发生变化，或者导体切割了磁感线，电路中或导体中就会产生感应电动势。
3. 感应电动势与感应电流的关系

(1)等效电源：产生感应电动势的那部分导体相当于电源，其中的电流方向指向等效电源正极，而电源内部的电流方向与电动势方向相同。

(2)发生电磁感应时，电路闭合时有感应电流，有感应电动势；电路不闭合时无感应电流，但有感应电动势。

(3)电路中感应电流的大小由感应电动势和回路总电阻共同决定。

(二)法拉第电磁感应定律

1. 内容：闭合电路中感应电动势的大小，跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。
2. 公式：$E = n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$($n$为线圈匝数)
3. 公式的理解：(1)当$\Delta\Phi$仅由B的变化引起时，则$E = n\dfrac{\Delta B \cdot S}{\Delta t}$；当$\Delta\Phi$仅由$S$的变化引起时，则$E = n\dfrac{B \cdot \Delta S}{\Delta t}$；当$\Delta\Phi$由$B$、$S$的变化同时引起时，则$E = n\dfrac{B_2S_2 - B_1S_1}{\Delta t}$。

(2)磁通量的变化率$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$是$\Phi - t$图像上某点切线的斜率。

(三)导体切割磁感线时的感应电动势

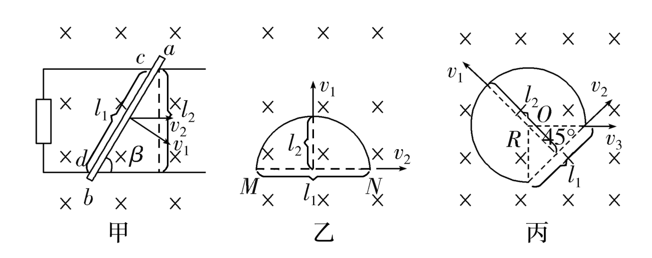
1. 公式：$E = Blv\sin\theta$
2. 使用条件

(1)匀强磁场。

(2)当 l 垂直 B、l 垂直 v,而 v 与 B 成 θ 角时。

(3)切割的“有效长度”:公式中的 l 为有效切割长度,即导体在与 v 垂直的方向上的投影长度。

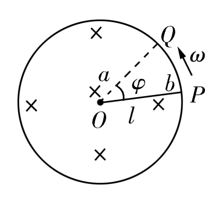
图中有效长度分别为:



(4)“相对性”的理解:$E=Blv$ 中的速度 v 是相对于磁场的速度,若磁场也运动,应注意速度间的相对关系。

(四)导体棒转动切割磁感线时的感应电动势

如图所示,长为 l 的导体棒 ab 以 a 为圆心、以角速度 ω 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中匀速转动,则棒切割磁感线产生的感应电动势可以从两个角度分析:



(1)运用 $E=Blv$ 计算

棒上各点速度不同,平均速度为 $\bar{v}=\frac{1}{2}\omega l$,

代入公式得 $E=\frac{1}{2}Bl^2\omega$。

(2)运用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$计算

经过 Δt 的时间,棒扫过的面积为 $\Delta S=\pi l^2\cdot\frac{\omega\Delta t}{2\pi}$,磁通量的变化量为 $\Delta\Phi=B\Delta S=\frac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$,代入公式得 $E=\frac{1}{2}Bl^2\omega$。

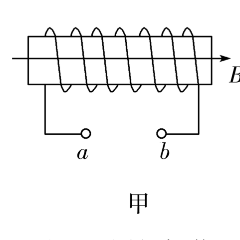
(五)磁通量 Φ、磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 及磁通量的变化率$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$的比较

	磁通量 Φ	磁通量的变化量 $\Delta\Phi$	磁通量的变化率$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
物理意义	某时刻穿过磁场中某个面的磁感线条数	在某一过程中,穿过某个面的磁通量的变化量	穿过某个面的磁通量变化的快慢
当 B、S 互相垂直时的大小	$\Phi=BS$	$\Delta\Phi=\begin{cases}\Phi_2-\Phi_1\\B\cdot\Delta S\\S\cdot\Delta B\end{cases}$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\begin{cases}\frac{\lvert\Phi_2-\Phi_1\rvert}{\Delta t}\\B\cdot\frac{\Delta S}{\Delta t}\\\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S\end{cases}$
注意	若穿过的平面中有方向相反的磁场,则不能直接用 $\Phi=BS$,Φ 为抵消以后所剩余的磁通量	开始和转过 180°时平面都与磁场垂直,但穿过平面的磁通量是不同的,一正一负,$\Delta\Phi=2BS$,而不是零	在 $\Phi-t$ 图像中,可用图线的斜率表示$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

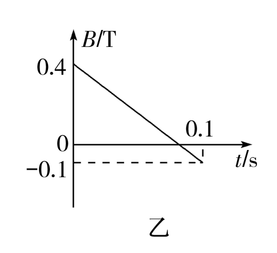
课堂笔记

典型例题

【例1】(多选)如图甲所示,线圈的匝数 $n=100$ 匝,横截面积 $S=50\ \text{cm}^2$,线圈总电阻 $r=10\ \Omega$,沿线圈轴向有匀强磁场,设图示磁场方向为正方向,磁场的磁感应强度随时间按如图乙所示规律变化,则在开始的 0.1 s 内(　　)



甲



乙

A. 磁通量的变化量为 0.25 Wb

B. 磁通量的变化率为 2.5×10^{-2} Wb/s

C. a、b 间电压为零

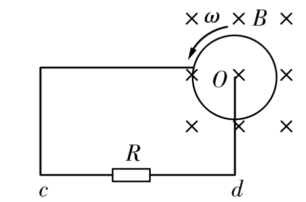
D. 在 a、b 间接一个理想电流表时,电流表的示数为 0.25 A

【例2】如图所示,导轨 OM 和 ON 都在纸面内,导体 AB 可在导轨上无摩擦滑动,$AB\perp ON$,ON 水平,若 AB 以 5 m/s 的速度从 O 点开始沿导轨匀速向右滑,导体与导轨都足够长,匀强磁场的磁感应强度为 0.2 T。问:(结果可用根式表示)

(1)第 3 s 末夹在导轨间的导体长度是多少?此时导体切割磁感线产生的感应电动势多大?

(2)0~3 s 内回路中的磁通量变化了多少?此过程中的平均感应电动势为多少?

【例3】如图所示,半径为 r 的金属圆盘在垂直于盘面的匀强磁场(磁感应强度为 B)中,绕 O 轴以角速度 ω 沿逆时针方向匀速转动,则通过电阻 R 的电流的方向和大小是(金属圆盘的电阻不计)(　　)



A. 由 c 到 d,$I=\dfrac{Br^2\omega}{R}$

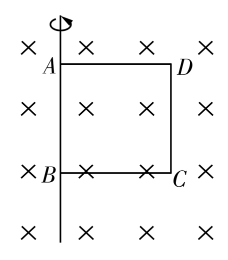
B. 由 d 到 c,$I=\dfrac{Br^2\omega}{R}$

C. 由 c 到 d,$I=\dfrac{Br^2\omega}{2R}$

D. 由 d 到 c,$I=\dfrac{Br^2\omega}{2R}$

【例4】如图所示,边长为 a 的正方形闭合线框 $ABCD$ 在匀强磁场中绕 AB 边匀速转动,磁感应强度为 B。初始时刻线框所在平面

与磁感线垂直，经过 t 时间转过 120°角。求闭合线框转过 120°角时感应电动势的瞬时值。



课后训练

1. 将闭合多匝线圈置于仅随时间变化的磁场中，线圈平面与磁场方向垂直，关于线圈中产生的感应电动势和感应电流，下列表述正确的是(　　)

A. 感应电动势的大小与线圈的匝数无关

B. 穿过线圈的磁通量越大，感应电动势越大

C. 穿过线圈的磁通量变化越快，感应电动势越大

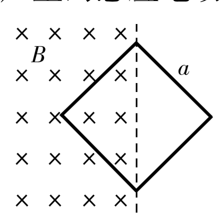
D. 感应电流产生的磁场方向与原磁场方向始终相同

2. 如图所示，平行导轨间距为 d，一端跨接一个电阻为 R，磁场的磁感应强度为 B，方向与导轨所在平面垂直。一根足够长的金属棒与导轨成 θ 角放置，金属棒与导轨的电阻不计。当金属棒沿垂直于棒的方向以速度 v 滑行时，通过电阻 R 的电流强度是(　　)

A. $\dfrac{Bdv}{R\sin\theta}$　　B. $\dfrac{Bdv\sin\theta}{R}$

C. $\dfrac{Bdv\cos\theta}{R}$　　D. $\dfrac{Bdv}{R}$

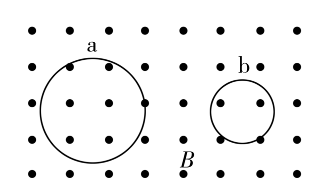
3. 如图所示，一正方形线圈的匝数为 n，边长为 a，线圈平面与匀强磁场垂直，且一半处在磁场中。在 Δt 时间内，磁感应强度的方向不变，大小由 B 均匀增大到 $2B$，在此过程中，线圈中产生的感应电动势为(　　)



A. $\dfrac{nBa^2}{2\Delta t}$　　B. $\dfrac{Ba^2}{2\Delta t}$

C. $\dfrac{nBa^2}{\Delta t}$　　D. $\dfrac{2nBa^2}{\Delta t}$

4. 如图所示，匀强磁场中有两个导体圆环 a、b，磁场方向与圆环所在平面垂直。磁感应强度 B 随时间均匀增大。两圆环半径之比为 2∶1，圆环中产生的感应电动势分别为 E_a 和 E_b。不考虑两圆环间的相互影响，下列说法正确的是(　　)



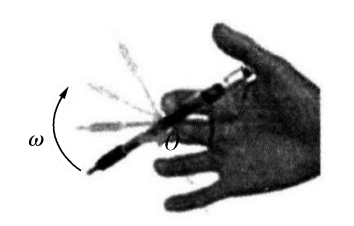
A. E_a∶E_b = 4∶1，感应电流均沿逆时针方向

B. E_a∶E_b = 4∶1，感应电流均沿顺时针方向

C. E_a∶E_b = 2∶1，感应电流均沿逆时针方向

D. $E_a : E_b = 2:1$,感应电流均沿顺时针方向

5. 转笔是一项用手指来转动笔的休闲活动,深受广大中学生的喜爱,其中也包含了许多的物理知识。如图所示某转笔高手能让笔绕其手指上的某一点 O 沿顺时针方向做角速度为 ω 的匀速圆周运动,已知 O 点恰好是长为 L 的金属笔杆的中点,地磁场的磁感应强度在与笔杆转动平面垂直方向的分量大小为 B,方向垂直纸面向外,则(　　)



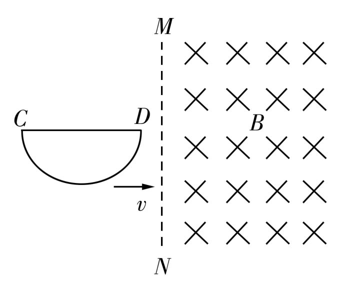
A. 笔杆上 O 点的电势最低

B. O 点与笔尖间的电势差为$\frac{1}{2}BL^2\omega$

C. O 点与笔尖间的电势差为$\frac{1}{8}BL^2\omega$

D. 笔杆两端点间的电势差为 $BL^2\omega$

6. (多选)如图所示,一导线弯成半径为 a 的半圆形闭合回路。虚线 MN 右侧有磁感应强度为 B 的匀强磁场。方向垂直于回路所在的平面。回路以速度 v 向右匀速进入磁场,直径 CD 始终与 MN 垂直。从 D 点到达边界开始到 C 点进入磁场为止,下列说法正确的是(　　)



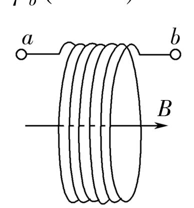
A. 感应电流方向不变

B. CD 段直线始终不受安培力

C. 感应电动势最大值 $E = Bav$

D. 感应电动势平均值 $\overline{E} = \frac{1}{4}\pi Bav$

7. 如图为无线充电技术中使用的受电线圈示意图,线圈匝数为 n,面积为 S。若在 t_1 到 t_2 时间内,匀强磁场平行于线圈轴线向右穿过线圈,其磁感应强度大小由 B_1 均匀增加到 B_2,则该段时间线圈两端 a 和 b 之间的电势差 $\varphi_a - \varphi_b$(　　)



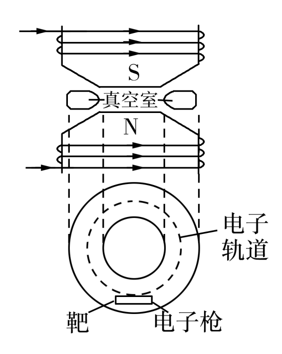
A. 恒为$\frac{nS(B_2 - B_1)}{t_2 - t_1}$

B. 从 0 均匀变化到$\frac{nS(B_2 - B_1)}{t_2 - t_1}$

C. 恒为$-\frac{nS(B_2 - B_1)}{t_2 - t_1}$

D. 从 0 均匀变化到$-\frac{nS(B_2 - B_1)}{t_2 - t_1}$

8. 电子感应加速器就是利用感应电场使电子加速的设备。电子在两极间的环形真空室中,始终沿逆时针方向做圆周运动。上图为感应加速器的侧视图,下图是真空室的俯视图。上、下为电磁铁的两个磁极,电磁铁线圈电流的大小、方向可以变化,所产生的感应电场使电子加速。若此时电磁铁中通有图示电流,下列说法正确的是(　　)



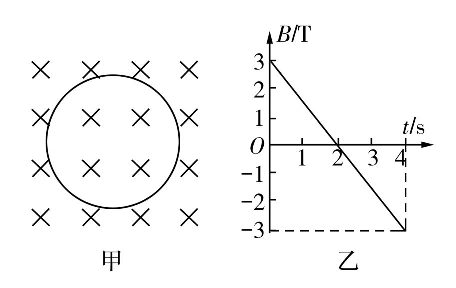
A. 若电磁铁中电流减小,则电子被加速

B. 若电磁铁中电流增大,则电子被加速

C. 若电磁铁中电流反向,则电子一定被减速

D. 若电磁铁中电流反向，且电流减小，则电子仍被加速

9. 图甲为一闭合线圈，匝数为 1000 匝，面积为 20 cm^2，电阻为 3 Ω。线圈处于一垂直纸面向里的匀强磁场中。从 $t=0$ 开始磁场按如图乙所示规律变化，则(　　)



A. $t=1$ s 时线圈中电流为逆时针方向

B. 线圈中感应电动势大小为 3 V

C. 前 4 s 通过导线某截面的电荷量为 0

D. 前 4 s 穿过线圈磁通量的变化量为零

10. 两根平行的长直金属导轨，其电阻不计，导线 ab、cd 跨在导轨上且与导轨接触良好，如图所示。ab 的电阻大于 cd 的电阻。当 cd 在外力 F_1（大小）的作用下，匀速向右运动时，ab 在外力 F_2（大小）的作用下保持静止，那么在不计摩擦力的情况下（U_{ab}、U_{cd}是导线与导轨接触点间的电势差）(　　)

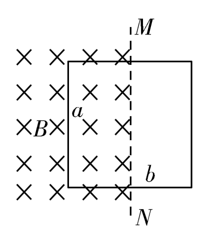
A. $F_1>F_2, U_{ab}>U_{cd}$

B. $F_1<F_2, U_{ab}=U_{cd}$

C. $F_1=F_2, U_{ab}>U_{cd}$

D. $F_1=F_2, U_{ab}=U_{cd}$

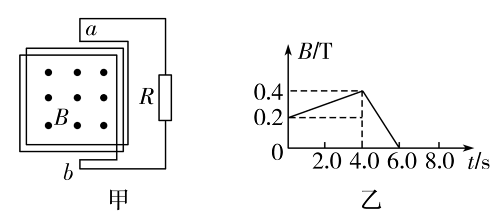
11. 如图所示，正方形线框的左半侧处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向与线框平面垂直，线框的对称轴 MN 恰与磁场边缘平齐。若第一次将线框从磁场中以恒定速度v_1 向右匀速拉出，第二次让线框绕轴 MN 以线速度v_2 匀速转过 90°。若两次操作过程中线框产生的平均感应电动势相等，则(　　)



A. $v_1:v_2=2:\pi$　　B. $v_1:v_2=\pi:2$

C. $v_1:v_2=1:2$　　D. $v_1:v_2=2:1$

12. 如图甲所示，在一个正方形金属线圈区域内存在着磁感应强度 B 随时间变化的匀强磁场，磁场的方向与线圈平面垂直。金属线圈所围的面积 $S=200\ cm^2$，匝数 $n=1000$，线圈电阻的阻值为 $r=2.0\ \Omega$。线圈与阻值 $R=8.0\ \Omega$ 的定值电阻构成闭合回路。匀强磁场的磁感应强度随时间变化的情况如图乙所示，求：



(1) $t_1=2.0$ s 时线圈产生的感应电动势的大小；

(2) $t_1=2.0$ s 时通过电阻 R 的感应电流的大小和方向；

(3) $t_2=5.0$ s 时刻，线圈端点 a、b 间的电压。

2.4 专题一:电磁感应中的电路问题

知识清单

(一)电磁感应中的电路问题

处理电磁感应中电路问题的一般方法

1. 明确哪部分电路或导体产生感应电动势,该部分电路或导体相当于电源,其他部分是外电路。
2. 画等效电路图,分清内、外电路。
3. 用法拉第电磁感应定律 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 或 $E=Blv\sin\theta$ 确定感应电动势的大小,用楞次定律或右手定则确定感应电流的方向。注意在等效电源内部,电流方向从负极流向正极。
4. 运用闭合电路欧姆定律、串并联电路特点、电功率等公式求解。

(二)电磁感应中的电荷量问题

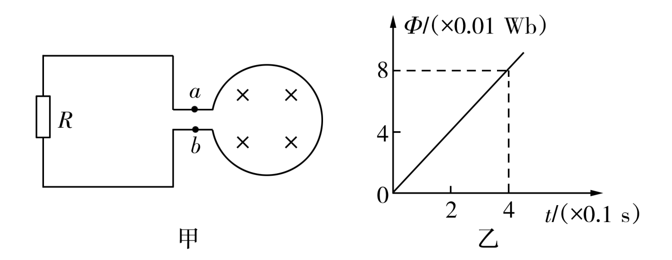
闭合回路中磁通量发生变化时,电荷发生定向移动而形成感应电流,在 Δt 内通过某一截面的电荷量(感应电荷量)$q=\bar{I}\cdot\Delta t=\dfrac{\bar{E}}{R_{总}}\cdot\Delta t=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot\dfrac{1}{R_{总}}\cdot\Delta t=\dfrac{n\Delta\Phi}{R_{总}}$。

由上式可知,线圈匝数一定时,通过某一截面的感应电荷量仅由回路电阻和磁通量的变化量决定,与时间无关。

课堂笔记

典型例题

【例1】如图甲所示,线圈总电阻 $r=0.5\ \Omega$,匝数 $n=10$,其端点 a、b 与 $R=1.5\ \Omega$ 的电阻相连,线圈内磁通量变化规律如图乙所示。关于 a、b 两点电势 φ_a、φ_b 及两点电势差 U_{ab},正确的是( )



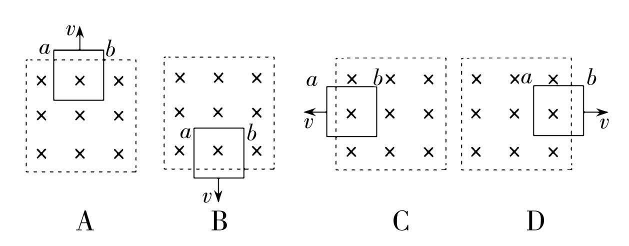
A. $\varphi_a>\varphi_b$,$U_{ab}=1.5\ \text{V}$

B. $\varphi_a<\varphi_b$,$U_{ab}=-1.5\ \text{V}$

C. $\varphi_a<\varphi_b$,$U_{ab}=-0.5\ \text{V}$

D. $\varphi_a>\varphi_b$,$U_{ab}=0.5\ \text{V}$

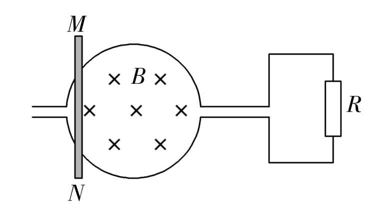
【例2】粗细均匀的电阻丝围成的正方形线框置于有界匀强磁场中,磁场方向垂直于线框平面,其边界与正方形线框的边平行。现使线框以同样大小的速度沿四个不同方向平移出磁场,如图所示,则在移出过程中线框的一边 a、b 两点间电势差的绝对值最大的是( )



【例3】固定在匀强磁场中的正方形导线框 $abcd$ 的边长为 L,其中 ab 是一段电阻为 R 的均匀电阻丝,其余三边均为电阻可以忽略的铜线。匀强磁场的磁感应强度为 B,

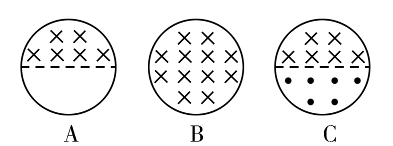
方向垂直纸面向里。现有一段与 ab 段的材料、粗细、长度均相同的电阻丝 PQ 架在导线框上(如图所示),PQ 与导线框接触良好。若 PQ 以恒定的速度 v 从 ad 滑向 bc,当其滑过$\frac{L}{3}$的距离时,通过 aP 段的电流多大?方向如何?

【例 4】如图所示,导线全部为裸导线,半径为 r 的圆形导线框内有垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度为 B,一根长度大于 $2r$ 的导线 MN 以速度 v 在圆环上无摩擦地自左向右匀速滑动,MN 与圆环接触良好,电路中的定值电阻为 R,其余部分电阻忽略不计。求 MN 从圆环的左端滑到右端的过程中电阻 R 上通过的电荷量。



课后训练

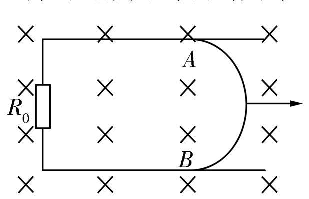
1. 如图所示,三个相同的金属圆环内,存在着不同的有界匀强磁场,虚线表示环的某条直径,已知所有磁场的磁感应强度随时间变化都满足 $B=kt$,方向如图。测得 A 环中感应电流强度为 I,则 B 环和 C 环内感应电流强度分别为(　　)



A. $I_B=I, I_C=0$　　B. $I_B=I, I_C=2I$

C. $I_B=2I, I_C=2I$　　D. $I_B=2I, I_C=0$

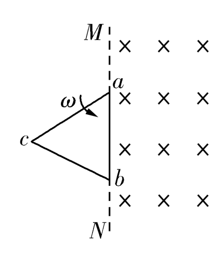
2. 如图所示,一个半径为 L,电阻为 r 的半圆形硬导体 AB,以速度 v 在接有阻值为R_0的水平 U 形框架上匀速滑动。匀强磁场的磁感应强度为 B,其余电阻不计,则半圆形导体 AB 切割磁感线产生感应电动势的大小及 AB 两端的电势差分别为(　　)



A. $BLv, \frac{BLvR_0}{R_0+r}$　　B. $2BLv, BLv$

C. $2BLv, \frac{2BLvR_0}{R_0+r}$　　D. $BLv, 2BLv$

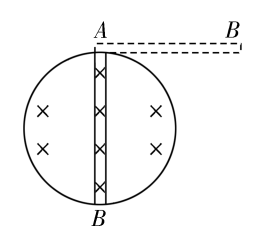
3. 边界 MN 的一侧区域内,存在着磁感应强度大小为 B、方向垂直于光滑水平桌面的匀强磁场。边长为 l 的正三角形金属线框 abc 粗细均匀,三边阻值相等,a 顶点刚好位于边界 MN 上,现使线框围绕过 a 点且垂直于桌面的转轴匀速转动,转动角速度为 ω,如图所示,则在 ab 边开始转入磁场的瞬间 a、b 两端的电势差U_{ab}为(　　)



A. $\frac{1}{3}Bl^2\omega$　　B. $-\frac{1}{2}Bl^2\omega$

C. $-\frac{1}{3}Bl^2\omega$　　D. $\frac{1}{6}Bl^2\omega$

4. 如图所示,竖直平面内有一金属环,半径为 a,总电阻为 R(指拉直时两端的电阻),磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直穿过环平面。与环的最高点 A 连接的长度为 $2a$、电阻为 $\frac{R}{2}$ 的导体棒 AB 由水平位置紧贴环面摆下,当摆到竖直位置时,B 点的线速度为 v,则这时 AB 两端的电压大小为(　　)



A. $\frac{Bav}{3}$　　B. $\frac{Bav}{6}$

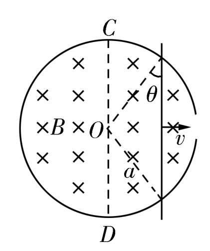
C. $\frac{2Bav}{3}$　　D. Bav

5. 如图边界 PQ 的右侧区域内,存在着磁感应强度大小为 B,方向垂直于纸面向里的匀强磁场。边长为 l 的正方形金属线框 $abcd$ 由粗细均匀的同种材料制成,ab 刚好位于边界 PQ 上。现使线框绕过边界 PQ 转轴匀速转动,角速度为 ω,如图所示,则在 ad 边开始转入磁场的瞬间 cd 两端的电势差 U_{cd} 为(　　)

A. $\frac{1}{4}Bl^2\omega$　　B. $\frac{3}{4}Bl^2\omega$

C. $-\frac{1}{4}Bl^2\omega$　　D. $-\frac{3}{4}Bl^2\omega$

6. (多选)如图所示纸面有一个半径为 a、右端开小口的导体圆环和一个长为 $2a$ 的导体直杆,它们单位长度电阻均为 R_0。圆环水平固定放置,整个内部区域分布着垂直纸面向里的匀强磁场,磁感应强度大小为 B。杆在圆环上以速度 v 平行于直径 CD 向右做匀速直线运动,杆始终有两点与圆环良好接触。从圆环中心 O 开始,杆的位置由 θ 确定,如图所示,则(　　)



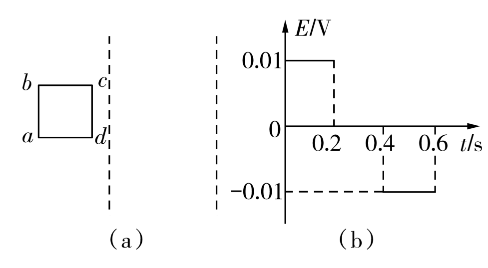
A. $\theta=0$ 时,杆产生的电动势为 $2Bav$

B. $\theta=\frac{\pi}{3}$时,杆产生的电动势为$\sqrt{3}Bav$

C. $\theta=0$ 时,杆受到的安培力大小为 $\frac{2B^2av}{(\pi+2)R_0}$

D. $\theta=\frac{\pi}{3}$ 时,杆受到的安培力大小为 $\frac{3B^2av}{(5\pi+3)R_0}$

7. (多选)两条平行虚线间存在一匀强磁场,磁感应强度方向与纸面垂直。边长为 0.1 m、总电阻为 0.005 Ω 的正方形导线框 $abcd$ 位于纸面内,cd 边与磁场边界平行,如图(a)所示。已知导线框一直向右做匀速直线运动,cd 边于 $t=0$ 时刻进入磁场。线框中感应电动势随时间变化的图线如图(b)所示(感应电流的方向为顺时针时,感应电动势取正)。下列说法正确的是(　　)



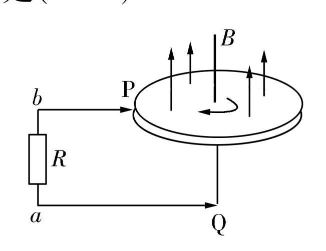
A. 磁感应强度的大小为 0.5 T

B. 导线框运动速度的大小为 0.5 m/s

C. 磁感应强度的方向垂直于纸面向外

D. 在 $t=0.4$ s 至 $t=0.6$ s 这段时间内，导线框所受的安培力大小为 0.1 N

8. (多选)法拉第圆盘发电机的示意图如图所示。铜圆盘安装在竖直的铜轴上，两铜片 P、Q 分别于圆盘的边缘和铜轴接触，圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中。圆盘旋转时，关于流过电阻 R 的电流，下列说法正确的是(　　)



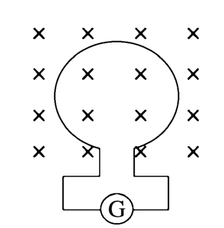
A. 若圆盘转动的角速度恒定，则电流大小恒定

B. 若从上往下看，圆盘顺时针转动，则电流沿 a 到 b 的方向流动

C. 若圆盘转动方向不变，角速度大小发生变化，则电流方向可能发生变化

D. 若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍，则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

9. 物理实验中，常用一种叫作"冲击电流计"的仪器测定通过电路的电荷量。如图所示，探测线圈与冲击电流计串联后可用来测定磁场的磁感应强度。已知线圈的匝数为 n，面积为 S，线圈与冲击电流计组成的回路电阻为 R。若将



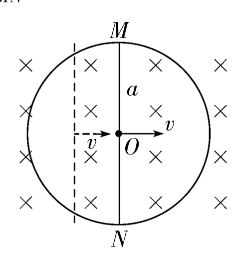
线圈放在被测匀强磁场中，开始时线圈平面与磁场垂直，现把探测线圈翻转 180°，冲击电流计测出通过线圈的电荷量为 q，由上述数据可得出被测磁场的磁感应强度为(　　)

A $\frac{qR}{S}$　　B. $\frac{qR}{nS}$　　C. $\frac{qR}{2nS}$　　D. $\frac{qR}{2S}$

10. 把总电阻为 $2R$ 的均匀电阻丝焊接成一半径为 a 的圆环，水平固定在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中，如图所示。一长为 $2a$、电阻等于 R、粗细均匀的金属棒 MN 放在圆环上，它与圆环始终保持良好的接触，当金属棒以恒定速度 v 向右移动经过环心 O 时，求：

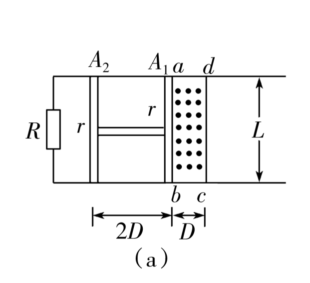
(1)金属棒上电流的大小；

(2)金属棒两端的电压 U_{MN}。

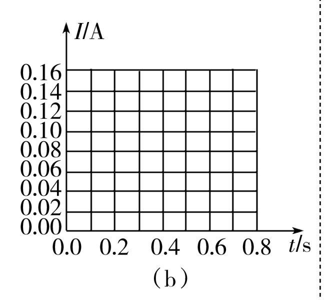


11. 如图(a)所示，水平放置的两根平行金属导轨，间距 $L=0.3$ m，导轨左端连接 $R=0.6\ \Omega$ 的电阻，区域 $abcd$ 内存在垂直于导轨平面 $B=0.6$ T 的匀强磁场，磁场区域宽 $D=0.2$ m。细金属棒 A_1 和 A_2 用长为 $2D=0.4$ m 的轻质绝缘杆连接，放置在导轨平面上，并与导轨垂直，每根金属棒在导轨间的电阻均为 $r=0.3\ \Omega$。导轨电阻不计。使金属棒以恒定速度 $v=1.0$ m/s 沿导轨向右穿越磁场。计算从金属棒 A_1

进入磁场($t=0$)到 A_2 离开磁场的时间内,不同时间段通过电阻 R 的电流强度,并在图(b)中画出。



(a)



(b)

2.5 专题二:电磁感应现象的两类情况

知识清单

(一)电磁感应现象中的感生电场

感生电动势:英国物理学家麦克斯韦认为,磁场变化时会在周围空间激发一种电场,这种电场与静电场不同,它不是由电荷产生的,我们把这种电场叫作感生电场。如果此刻空间存在闭合导体,导体中的自由电荷就会在感生电场的作用下做定向运动,产生感应电流,或者说导体中产生了感应电动势。在这种情况下,所谓的非静电力就是感生电场对自由电荷的作用。

1. 定义:由感生电场产生的感应电动势叫作感生电动势。大小:$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$。
2. 方向判断:楞次定律和右手螺旋定则。

(二)电磁感应现象中的动生电动势

1. 产生:导体切割磁感线时,如果磁场不变化,空间就不存在感生电场,自由电荷不受电场力的作用,但自由电荷会随着导体棒切割磁感线的运动而受到洛伦兹力,这种情况下产生的电动势叫作动生电动势。切割磁感线运动的导体相当于一个电源,这时的非静电力与洛伦兹力有关。
2. 大小:$E=Blv$(B 的方向与 v 的方向垂直)。
3. 方向判断:右手定则。

(三)$E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$和 $E=Blv$ 的选用技巧

产生感应电动势的方式有两个:一是磁场变化引起磁通量变化产生感应电动势 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,叫感生电动势;二是导体切割磁感线运动产生感应电动势 $E=Blv$,叫动生电动势。

1. $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$适用于任何情况下平均感应电动势的求解,当 $\Delta t\to 0$ 时,E 为瞬时值。
2. $E=Blv$ 是法拉第电磁感应定律在导体切割磁感线时的具体表达式。

(1)当 v 为平均速度时,E 为平均感应电动势。

(2)当 v 为瞬时速度时,E 为瞬时感应电动势。

3. 当同时存在感生电动势与动生电动势时，总电动势等于两者的代数和。两者在方向相同时相加，方向相反时相减。（方向相同或相反是指感应电流在回路中的方向）

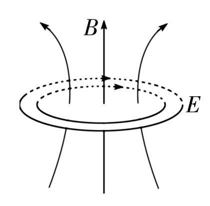
课堂笔记

典型例题

【例 1】如图所示，如果磁感应强度 B 增强，那么就会在磁场的周围产生一个感生电场 E。如果电场 E 处空间存在闭合导体，导体中的自由电荷就会在电场力的作用下定向移动，而产生感应电流，或者说导体中产生感应电动势。

（1）感生电场的方向与感应电流的方向有什么关系？如何判断感生电场的方向？

（2）上述情况下，哪种作用扮演了非静电力的角色？



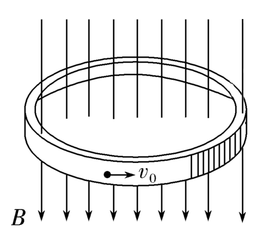
【例 2】如图所示，导体棒 CD 在均匀磁场中运动。

（1）自由电荷会随着导体棒运动，并因此受到洛伦兹力。导体中自由电荷相对纸面的运动在空间大致沿什么方向？为了方便，可以认为导体中的自由电荷是正电荷。

（2）导体棒一直运动下去，自由电荷是否总会沿着导体棒一直运动下去？为什么？

（3）导体棒的哪端电势比较高？如果用导线把 C、D 两端连到磁场外的一个用电器上，导体棒中电流是沿什么方向的？

【例 3】如图所示是一个水平放置的玻璃圆环形小槽，槽内光滑，槽宽度和深度处处相同。现将一直径略小于槽宽的带正电小球放在槽中，让它获得一初速度 v_0，与此同时，有一变化的磁场垂直穿过玻璃圆环形小槽外径所在的区域，磁感应强度的大小跟时间成正比例增大，方向竖直向下。设小球在运动过程中电荷量不变，则（　　）



A. 小球需要的向心力大小不变

B. 小球需要的向心力大小不断增大

C. 磁场力对小球做了功

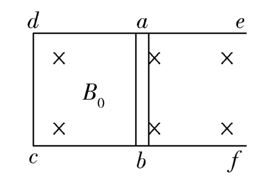
D. 小球受到的磁场力大小与时间成正比

【例 4】如图所示，固定在水平桌面上的金属框架 $edcf$ 处在竖直向下的匀强磁场中，金属棒 ab 在框架上可无摩擦滑动，此时 $abcd$ 构成一个边长为 l 的正方形，金属棒的电阻为 r，其余部分电阻不计，开始时磁感应强度为 B_0。

(1) 若从 $t=0$ 时刻起，磁感应强度均匀增加，每秒增量为 k，同时保持金属棒静止。求金属棒中的感应电流，在图上标出感应电流的方向；

(2) 在上述(1)情况下，始终保持金属棒静止，当 $t=t_1$ 时需加在垂直于金属棒上的水平拉力为多大？

(3) 若从 $t=0$ 时刻起，磁感应强度逐渐减小，当金属棒以恒定速度 v 向右做匀速运动时，可使金属棒中不产生感应电流。则磁感应强度应怎样随时间变化？（写出 B 与 t 的关系式）



课后训练

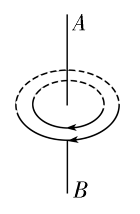
1. (多选) 某空间出现了如图所示的一组闭合的电场线，这可能是(　　)

A. 沿 AB 方向磁场在迅速减弱

B. 沿 AB 方向磁场在迅速增强

C. 沿 BA 方向磁场在迅速增强

D. 沿 BA 方向磁场在迅速减弱



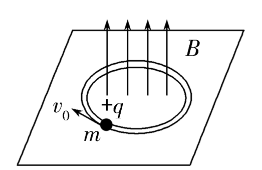
2. 如图所示，在一水平光滑绝缘塑料板上有一环形凹槽，有一带正电小球质量为 m，电荷量为 q，在槽内沿顺时针做匀速圆周运动。现加一竖直向上的均匀变化的匀强磁场，且磁感应强度 B 逐渐增加，则(　　)

A. 小球速度变大

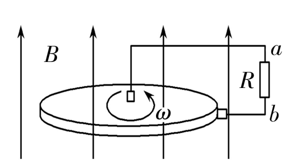
B. 小球速度变小

C. 小球速度不变

D. 以上三种情况都有可能



3. 如图为法拉第圆盘发电机的示意图，半径为 r 的导体圆盘绕竖直轴以角速度 ω 逆时针(从上向下看)旋转，匀强磁场竖直向上，两电刷分别与圆盘中心轴和边缘接触，电刷间接有阻值为 R 的定值电阻，忽略圆盘电阻与接触电阻，则(　　)



A. 流过定值电阻的电流方向为 a 到 b

B. b、a 间的电势差为 $B\omega r^2$

C. 若 ω 增大到原来的 2 倍，则流过定值电阻的电流增大到原来的 2 倍

D. 若 ω 增大到原来的 2 倍，则流过定值电阻的电流增大到原来的 4 倍

4. (多选) 如图所示，长为 L 的金属杆在外力作用下，在匀强磁场中沿水平光滑导轨匀速运动。如果速度 v 不变，将磁感应强度由 B 增为 $2B$。除电阻 R 外，其他电阻不

计。那么(　　)

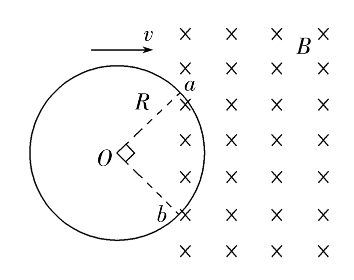
A. 外力将增为 4 倍

B. 外力将增为 2 倍

C. 感应电动势将增为 2 倍

D. 感应电流的热功率将增为 4 倍

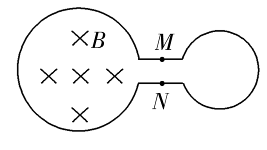
5. 如图所示,由均匀导线制成的半径为 R 的圆环,以速度 v 匀速进入一磁感应强度大小为 B(磁场方向垂直纸面向里)的匀强磁场。当圆环运动到图示位置($\angle aOb=90°$)时,a、b 两点的电势差为(　　)



A. $\sqrt{2}BRv$　　B. $\frac{\sqrt{2}}{2}BRv$

C. $\frac{\sqrt{2}}{4}BRv$　　D. $\frac{3\sqrt{2}}{4}BRv$

6. 如图所示,两个连在一起的金属圆环,小金属环的电阻是大金属环电阻的二分之一,磁场垂直穿过大金属环所在区域,当磁感应强度随时间均匀变化时,在大环内产生的感应电动势为 E,则 M、N 两点间的电势差为(　　)



A. $\frac{1}{2}E$　　B. $\frac{1}{3}E$

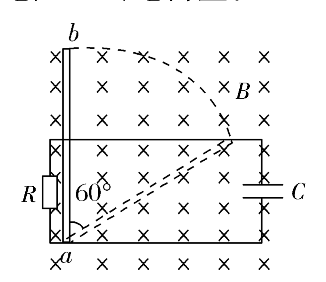
C. $\frac{2}{3}E$　　D. E

7. 如图所示,均匀磁场中有一由半圆弧及其直径构成的导线框,半圆直径与磁场边缘重合。磁场方向垂直于半圆面(纸面)向里,磁感应强度大小为 B_0。使该线框从静止开始绕过圆心 O,垂直于半圆面的轴以角速度 ω 匀速转动半周,在线框中产生感应电流。现使线框保持图中所示位置,磁感应强度大小随时间线性变化。为了产生与线框转动半周过程中同样大小的电流,磁感应强度随时间的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 的大小应为(　　)

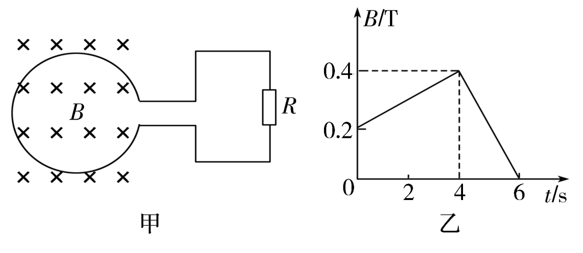
A. $\frac{4\omega B_0}{\pi}$　　B. $\frac{2\omega B_0}{\pi}$

C. $\frac{\omega B_0}{\pi}$　　D. $\frac{\omega B_0}{2\pi}$

8. 如图所示,两条平行且足够长的金属导轨置于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场的方向垂直导轨平面。两导轨间距为 L,左端接一电阻 R,右端接一电容器 C,其余电阻不计。长为 $2L$ 的导体棒 ab 如图所示放置。从 ab 与导轨垂直开始,在以 a 为圆心沿顺时针方向以角速度 ω 匀速旋转 90° 的过程中,试求通过电阻 R 的电荷量。



9. 如图甲所示,一个圆形线圈的匝数 $n=1000$ 匝,线圈面积 $S=200\ cm^2$,线圈的电阻 $r=1\ \Omega$,线圈外接一个阻值 $R=4\ \Omega$ 的电阻,把线圈放入一方向垂直线圈平面向里的匀强磁场中,磁感应强度随时间变化规律如图乙所示。求:



甲　　乙

(1)前 4 s 内的感应电动势;

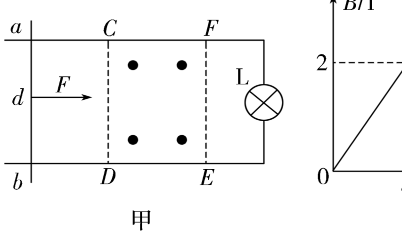
(2)前 5 s 内的感应电动势。

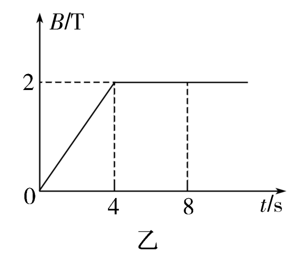
10. 如图甲所示,固定在水平面上电阻不计的光滑金属导轨,间距 $d=0.5\ m$。右端接一阻值为 4 Ω 的小灯泡 L,在 $CDEF$ 矩形区域内有竖直向上的匀强磁场,磁感应强度 B 按如图乙规律变化。CF 长为 2 m。在 $t=0$ 时,金属棒从图中位置由静止在恒力 F 作用下向右运动到 EF 位置,整个过程中,小灯泡亮度始终不变。已知 ab 金属棒电阻为 1 Ω。求:

(1)通过小灯泡的电流;

(2)恒力 F 的大小;

(3)金属棒的质量。





甲　　乙

2.6.1　专题三：电磁感应中的单杆问题（一）

知识清单

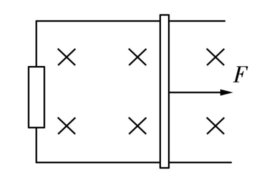
单杆问题

1. 发电式模型

(1) 电路特点：导体棒相当于电源，当速度为 v 时，电动势 $E=Blv$。

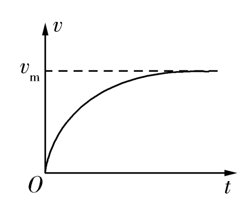
(2) 安培力特点：安培力为阻力，并随速度增大而增大。

$$F_B=BIl=B\frac{Blv}{R+r}l=\frac{B^2l^2v}{R+r}\propto v$$



(3) 加速度特点：加速度随速度增大而减小。

$$a=\frac{F-F_B-\mu mg}{m}=\frac{F}{m}-\frac{B^2l^2v}{m(R+r)}-\mu g$$



(4) 运动特点：加速度减小的加速运动。

(5) 最终状态：匀速直线运动。

(6) 两个极值

①$v=0$ 时，有最大加速度：

$$a_m=\frac{F-\mu mg}{m}$$

②$a=0$ 时，有最大速度：

$$a=\frac{F-F_B-\mu mg}{m}=\frac{F}{m}-\frac{B^2l^2v}{m(R+r)}-\mu g=0$$

$$v_m=\frac{(F-\mu mg)(R+r)}{B^2l^2}$$

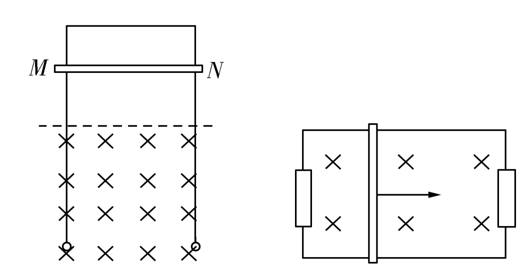
(7) 能量关系

$$Fs=Q_E+\mu mgs+\frac{1}{2}mv_m^2$$

(8) 动量关系

$$Ft-BLq-\mu mgt=mv_0-0$$

(9) 问题变形：改变摩擦力；改变电路；改变磁场方向；改变轨道等。



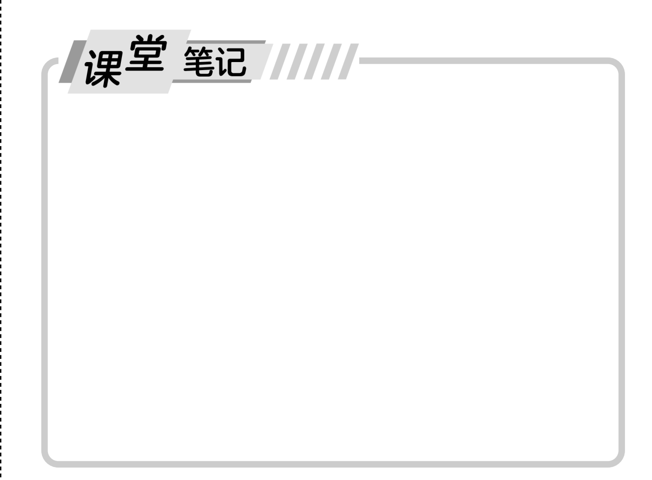
2. 解决此类问题首先要建立“动→电→动”的思维顺序，解题步骤可概括总结为：

(1) 找“电源”，用法拉第电磁感应定律和楞次定律求解电动势的大小和方向。

(2) 画出等效电路图，求解回路中的电流的大小及方向。

(3) 分析安培力影响导体棒运动速度、加速度的动态过程，最后确定导体棒的最终运动情况。

(4) 列出牛顿第二定律或平衡方程求解。



典型 例题

【例 1】（多选）如图所示的 U 形金属框架固定在绝缘水平面上，两导轨之间的距离为 L，左端连接一阻值为 R 的定值电阻。阻值为 r、质量为 m 的金属棒垂直地放在导轨上，整个装置处在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，现给金属棒以水平向右的初速度 v_0，金属棒向右运动的距离为 x 后停止运动，已知该过程中定值电阻上产生的焦耳热为 Q，重力加速度为 g，忽略导轨的电阻，整个过程中金属棒始终与导轨垂直接触，则该过程中（　　）

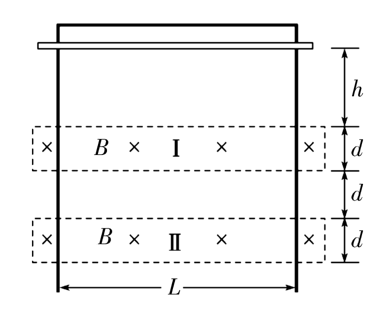
A. 磁场对金属棒做功为 $-\frac{R+r}{R}Q$

B. 流过金属棒的电荷量为 $\frac{BLx}{R+r}$

C. 整个过程因摩擦而产生的热量为 $\frac{1}{2}mv_0^2-Q$

D. 金属棒与导轨之间的动摩擦因数为 $\frac{v_0^2}{2gx}-\frac{R+r}{mgxR}Q$

【例 2】如图所示，竖直放置的光滑导轨宽为 L，矩形匀强磁场Ⅰ、Ⅱ的高和间距均为 d，磁感应强度大小为 B。质量为 m 的水平金属杆由静止释放，进入磁场Ⅰ和Ⅱ时的速度相等。金属杆在导轨间的电阻为 R，金属杆与导轨接触良好，其余电阻不计，重力加速度为 g，则金属杆（　　）



A. 刚进入磁场Ⅰ时加速度方向竖直向下

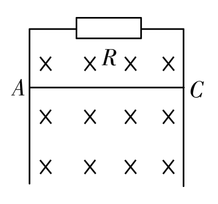
B. 穿过磁场Ⅰ的时间小于在两磁场之间的运动时间

C. 穿过两磁场产生的总热量为 $4mgd$

D. 释放时距磁场Ⅰ上边界的高度 h 可能小于 $\frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$

课后 训练

1. 如图所示，足够长的光滑金属导轨固定在竖直平面内，匀强磁场垂直导轨所在的平面。金属棒 AC 与导轨垂直且接触良好。现将导轨接上电阻 R，导轨和金属棒的电阻忽略不计，则金属棒 AC 由静止释放后（　　）



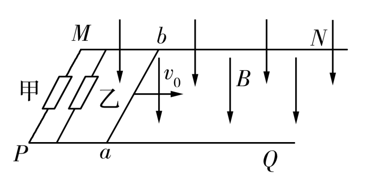
A. 金属棒所受安培力的最大值与其重力大小相等

B. 电流方向沿棒由 C 指向 A

C. 在金属棒加速下落的过程中，金属棒减少的重力势能全部转化为在电阻上产生的热量

D. 金属棒达到稳定速度后的下落过程中，金属棒的机械能守恒

2. （多选）如图所示，水平面上有两根足够长的光滑平行金属导轨 MN 和 PQ，两导轨间距为 L，导轨电阻忽略不计。在 M 和 P 之间接有阻值为 R 的甲与乙两个定值电阻，导体杆 ab 的质量为 m，电阻为 r，并与导轨接触良好。整个装置处于方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。现给导体杆 ab 一初速度 v_0，使杆向右运动，最后杆停在导轨上。下列说法正确的是（　　）



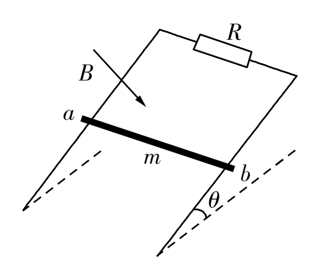
A. ab 杆做匀减速直线运动直到静止

B. ab 杆速度减为$\frac{v_0}{2}$时，ab 杆加速度大小为 $\frac{B^2L^2v_0}{m(R+2r)}$

C. ab 杆速度减为$\frac{v_0}{2}$时，通过甲电阻的电量 $q=\frac{mv_0}{2BL}$

D. ab 杆速度减为$\frac{v_0}{2}$时，ab 杆走过的位移 $x=\frac{mv_0(R+2r)}{4B^2L^2}$

3.（多选）如图所示，相距为 L 的两条足够长的固定光滑平行金属导轨与水平面的夹角为 θ，上端接有定值电阻 R，其余电路电阻都不计，匀强磁场垂直于导轨平面向下，磁感应强度大小为 B。现将质量为 m 的导体棒垂直于导轨由静止释放，当棒下滑到稳定状态时，速度为 v。下列说法正确的是（　　）



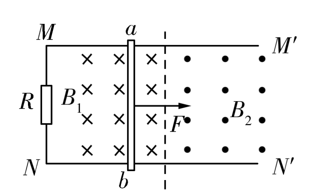
A. 导体棒达到稳定状态前做加速度减小的加速运动

B. 稳定状态时的速度为 $v=\frac{B^2L^2\sin\theta}{mgR}$

C. 当导体棒速度达到$\frac{2v}{3}$时加速度为$\frac{1}{3}g\sin\theta$

D. 从导体棒开始运动到达到稳定状态，电阻 R 产生的焦耳热等于重力所做的功

4.（多选）如图所示，水平放置的光滑金属长导轨 MM' 和 NN' 之间接有一电阻 R，导轨左、右两区域分别处在方向相反与轨道垂直的匀强磁场中，磁场方向如图所示。设左、右两区域磁场的磁感应强度大小分别为 B_1 和 B_2，虚线为两区域的分界线，垂直于导轨放置的金属棒 ab 在水平向右的恒定拉力作用下，在左面区域中恰好以速度为 v 做匀速直线运动。已知金属棒和导轨的电阻均不计，下列说法正确的是（　　）



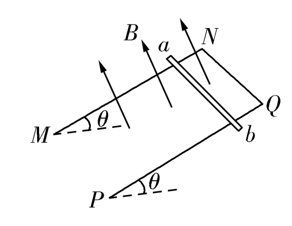
A. 若 $B_2=B_1$，金属棒进入右面区域后先做加速运动，最后以速度$\frac{v}{2}$做匀速直线运动

B. 若 $B_2=B_1$，金属棒进入右面区域后仍以速度 v 做匀速直线运动

C. 若 $B_2=2B_1$，金属棒进入右面区域后先做减速运动，最后以速度$\frac{v}{4}$做匀速直线运动

D. 若 $B_2=2B_1$，金属棒进入右面区域后先做加速运动，最后以速度 $4v$ 做匀速直线运动

5.（多选）如图所示，足够长的 U 形光滑金属导轨平面与水平面成 θ 角（$0<\theta<90°$），其中 MN 与 PQ 平行且间距为 L，导轨平面与磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直，导轨电阻不计。金属棒 ab 由静止开始沿导轨下滑，并与两导轨始终保持垂直且良好接触，ab 棒接入电路的电阻为 R。当通过 ab 棒某一横截面的电量为 q 时，棒的速度大小为 v，则金属棒 ab 在这一过程中（　　）



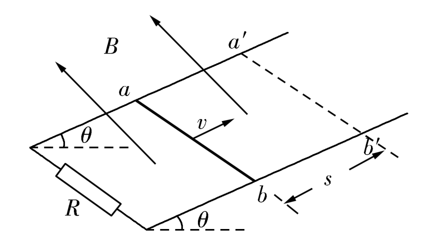
A. 产生的焦耳热为 $qBLv$

B. 棒中的电流方向从 a 到 b

C. 下滑的位移大小为$\frac{qR}{BL}$

D. 运动的平均速度大于$\frac{1}{2}v$

6. (多选)如图所示,电阻不计的平行金属导轨与水平面间的倾角为θ,下端与阻值为R的定值电阻相连,磁感应强度为B的匀强磁场垂直穿过导轨平面。有一质量为m、长为L的导体棒从ab位置获得平行于斜面的、大小为v的初速度向上运动,最远到达$a'b'$的位置,滑行的距离为s。已知导体棒的电阻也为R,导体棒与导轨之间的动摩擦因数为μ,则(　　)



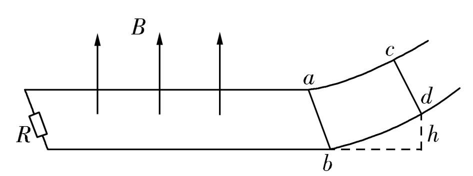
A. 上滑过程中导体棒受到的最大安培力为$\frac{B^2L^2v}{R}$

B. 上滑过程中电流做功产生的热量为$\frac{1}{2}mv^2-mgs(\sin\theta+\mu\cos\theta)$

C. 上滑过程中导体棒所受安培力做的功为$\frac{1}{2}mv^2-mgs(\sin\theta+\mu\cos\theta)$

D. 上滑过程中导体棒损失的机械能为$\frac{1}{2}mv^2-mgs\sin\theta$

7. (多选)如图所示,由竖直圆弧轨道和水平直轨道平滑连接组成两条光滑平行的金属导轨,导轨间距为$L=0.2$ m。水平直轨所在水平面内有磁感应强度$B=2$ T的竖直向上的匀强磁场,左端用阻值$R=1$ Ω的电阻连接。金属棒ab放在水平直轨的右端(在磁场内)并始终与导轨接触良好,其长度$L_{ab}=0.2$ m、质量$m_1=0.05$ kg、电阻$r=1$ Ω。质量$m_2=0.1$ kg的绝缘棒cd从圆弧轨道上高出水平轨道$h=0.45$ m处由静止释放,cd与ab碰撞后粘在一起继续运动直到都停止运动。在这全过程中,ab未与左侧电阻R接触,不计导轨电阻,重力加速度大小为$g=10$ m/s^2,则(　　)



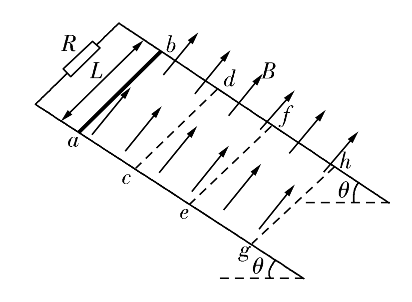
A. 碰撞后ab的最大速度大小为2 m/s

B. 全过程中ab的位移大小为1.25 m

C. 到ab停止运动时,系统损失的机械能为0.45 J

D. 到ab停止运动时,通过电阻R的电荷量为0.75 C

8. (多选)如图所示,两根电阻不计、间距为L的平行金属导轨固定放置,其所在平面与水平面夹角为θ,上端连接一阻值为R的定值电阻。图中有四条虚线ab、cd、ef、gh,相邻两虚线之间的距离均为d,整个装置处在垂直导轨平面向上、磁感应强度大小为B的匀强磁场中。一质量为m、电阻可忽略的导体棒垂直导轨由虚线ab处无初速度释放。在cd、ef之间的导轨涂上绝缘涂层,使得导体棒仅与涂有绝缘涂层的导轨间有摩擦力(其他区域摩擦不计),导体棒在整个运动过程中始终与导轨垂直,且导体棒到达虚线cd之前已经做匀速直线运动,并一直保持此速度到达虚线gh处,重力加速度为g。下列说法正确的是(　　)



A. 导体棒在到达 cd 之前先做匀加速运动，再做匀速运动

B. 导体棒在 cd、ef 之间与导轨间的动摩擦因数等于 $\tan\theta$

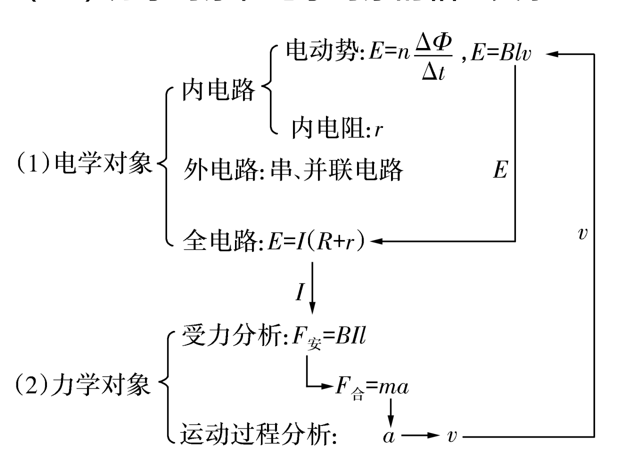
C. 导体棒在 gh 处的速度大小为$\dfrac{mgR}{B^2L^2}$

D. 导体棒由 ab 到 gh 的过程中电阻上产生的焦耳热为 $2mgd\sin\theta-\dfrac{m^3g^2R^2\sin^2\theta}{2B^4L^4}$

2.6.2　专题四：电磁感应中的单杆问题（二）

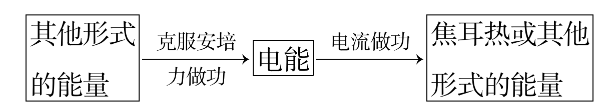
知识清单

（一）力学对象和电学对象的相互关系

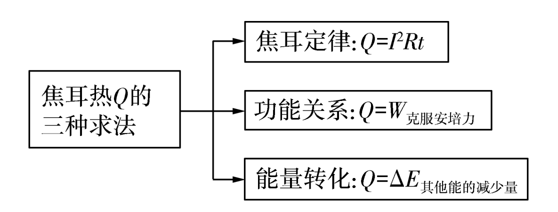


（二）能量转化及焦耳热的求法

（1）能量转化



（2）求解焦耳热 Q 的三种方法（纯电阻电路）



（三）单杆模型

初态	$v_0\neq0$	$v_0=0$		
示意图	质量为 m、电阻不计的单杆 ab 以一定初速度 v_0 在光滑水平轨道上滑动，两平行导轨间距为 l	轨道水平光滑，单杆 ab 质量为 m，电阻不计，两平行导轨间距为 l	轨道水平光滑，单杆 ab 质量为 m，电阻不计，两平行导轨间距为 l，拉力 F 恒定	轨道水平光滑，单杆 ab 质量为 m，电阻不计，两平行导轨间距为 l，拉力 F 恒定

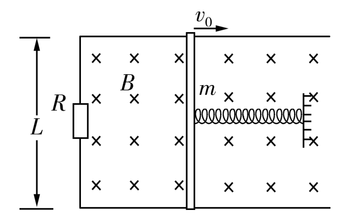
续表

初态	$v_0 \neq 0$	$v_0 = 0$		
运动分析	导体杆做加速度越来越小的减速运动,最终杆静止	当 $E_{感} = E$ 时,v 最大,且 $v_m = \frac{E}{Bl}$,最后以 v_m 匀速运动	当 $a = 0$ 时,v 最大,$v_m = \frac{FR}{B^2l^2}$,杆开始匀速运动	Δt 时间内流入电容器的电荷量 $\Delta q = C\Delta U = CBl\Delta v$ 电流 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = CBl\frac{\Delta v}{\Delta t} = CBla$ 安培力 $F_{安} = BIl = B^2l^2Ca$ $F - F_{安} = ma$,$a = \frac{F}{m + B^2l^2C}$, 所以杆以恒定的加速度匀加速运动
能量分析	动能转化为内能,$\frac{1}{2}mv_0^2 = Q$	电能转化为动能和内能,$E_{电} = \frac{1}{2}mv_m^2 + Q$	外力做功转化为动能和内能,$W_F = \frac{1}{2}mv_m^2 + Q$	外力做功转化为电能和动能,$W_F = E_{电} + \frac{1}{2}mv^2$



典型例题

【例1】(多选)如图所示,固定的水平粗糙的金属导轨,间距为 L,左端接有阻值为 R 的电阻,处在磁感应强度方向竖直向下、大小为 B 的匀强磁场中。质量为 m 的导体棒与固定弹簧相连,放在导轨上,导轨与导体棒间的动摩擦因数为 μ,弹簧劲度系数为 k,导轨和棒的电阻均可忽略。初始时刻,弹簧压缩量为 x_0。由静止释放导体棒,棒沿导轨往复运动,最后棒停止运动,此时弹簧处于原长,运动过程中,导体棒始终与导轨垂直并保持良好接触。下列说法正确的是(　　)



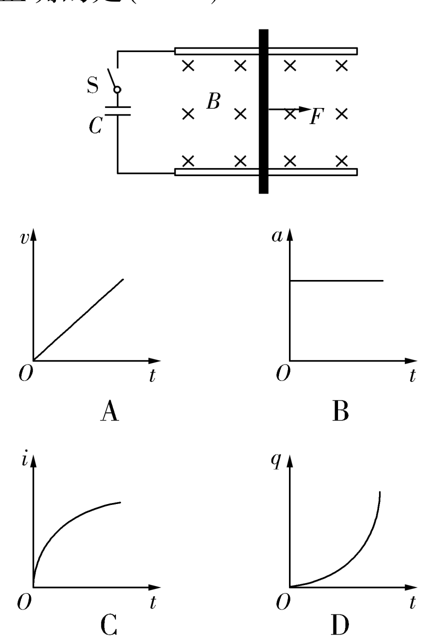
A. 棒被释放后第一次从右向左运动过程中,棒一直做匀加速运动

B. 刚释放导体棒时,棒的加速度为 $\frac{kx_0 - \mu mg}{m}$

C. 整个过程中弹簧的弹性势能减少量等于电阻上产生的热量

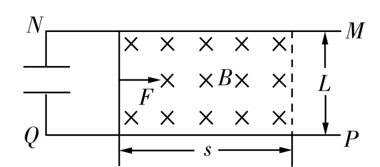
D. 整个过程中弹簧的弹性势能减少量等于电阻上产生的热量与摩擦产生的热量之和

【例 2】(多选)如图,水平面内有一足够长的两平行金属导轨,导轨光滑且电阻不计,与导轨接触良好的一金属棒垂直放置在两导轨上,两导轨左端用导线与电容器 C(电容器不带电)及开关连接,两平行金属导轨间存在垂直于导轨平面向里的匀强磁场。$t=0$时刻,闭合开关 S 的同时对金属棒施加一平行于导轨向右的恒力 F。下列关于金属棒的速度 v、加速度 a、棒中的电流 i、电容器所带电荷量 q 随时间 t 变化的图像可能正确的是(　　)



课后训练

1. 某物理探究小组根据查到的电磁弹射的原理设计了如下装置。如图所示,间距 $L=0.4$ m 的光滑平行金属导轨 MN、PQ 放置在水平面内,导轨电阻不计,其左端连有耐压值足够大的电容器,电容 $C=5000$ μF。导轨间存在宽度 $s=2.5$ m 的有界匀强磁场,其左、右边界均垂直于导轨,磁场的磁感应强度大小 $B=5$ T,方向竖直向下。质量 $m=300$ g、电阻 $R=0.8$ Ω、长度也为 L 的导体棒垂直导轨放置并与导轨接触良好。某时刻,导体棒受到水平向右、大小 $F=1.6$ N 的恒力作用,由静止开始从磁场的左边界向右运动。关于导体棒从磁场左边界运动到右边界的过程,下列说法正确的是(　　)



A. 导体棒做匀加速直线运动,加速度大小为$\frac{16}{3}$ m/s^2

B. 导体棒做非匀加速直线运动,刚开始运动时的加速度大小为$\frac{16}{3}$ m/s^2

C. 导体棒运动到磁场右边界时的速度大小为 5 m/s,所用时间为 1 s

D. 当导体棒运动到磁场右边界时,电容器所带的电荷量最多,为 5×10^{-8} C

2. (多选)如图,水平固定放置的足够长的光滑平行导轨,电阻不计,间距为 L,左端连接的电源电动势为 E,内阻为 r。质量为 m 的金属杆垂直静放在导轨上,金属杆处于导轨间部分的电阻为 R。整个装置处在磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场中,闭合开关,金属杆沿导轨做变加速运动直至达到最大速度,下列说法正确的是(　　)

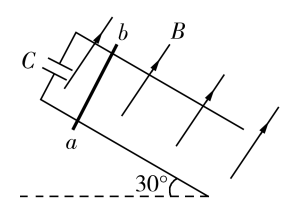
A. 金属杆的最大速度大小为$\frac{E}{BL}$

B. 此过程中通过金属杆的电荷量为$\frac{mE}{2B^2L^2}$

C. 此过程中电源提供的电能为$\dfrac{mE^2}{B^2L^2}$

D. 此过程中金属杆产生的热量为$\dfrac{mE^2}{2B^2L^2}$

3.(多选)如图所示,足够长的平行光滑金属导轨倾斜放置,与水平面夹角为30°,两导轨间的距离为L,导轨顶端接有电容为C的电容器。一根质量为m的均匀金属棒ab放在导轨上,与两导轨垂直且保持良好接触,整个装置放在磁感应强度大小为B的匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨平面向上,重力加速度为g,不计一切电阻。由静止释放金属棒,金属棒下滑距离x的过程中电容器未被击穿,下列说法正确的是(　　)



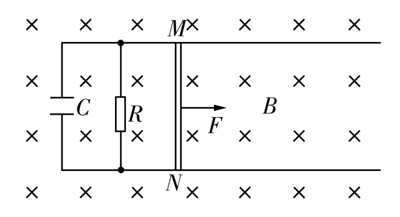
A. 金属棒做加速度越来越小的加速运动

B. 金属棒下滑距离x时的速度$v=\sqrt{\dfrac{mgx}{2(m+B^2L^2C)}}$

C. 金属棒下滑距离x的过程中电容器储存的电荷量$q=BLC\sqrt{\dfrac{mgx}{m+B^2L^2C}}$

D. 金属棒下滑距离x的过程中,电容器储存的电场能$E_{电}=\dfrac{mgCB^2L^2x}{2(m+B^2L^2C)}$

4.(多选)如图所示,足够长的光滑平行金属导轨水平放置,宽度$d=1.0$ m,左端连接$R=1.5\ \Omega$的电阻和$C=20\ \mu$F的电容器。导轨所在空间存在竖直向下的匀强磁场,磁感应强度$B=0.5$ T。质量$m=0.1$ kg、电阻$r=0.5\ \Omega$的导体棒MN垂直放在导轨上,其长度恰好等于导轨间距,且始终与导轨接触良好。现用平行于导轨的力$F=1$ N作用于导体棒MN上,使之由静止开始沿导轨向右运动,经时间$t=1$ s后开始做匀速运动,导轨的电阻忽略不计,则下列说法正确的是(　　)



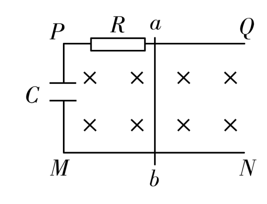
A. 导体棒MN匀速运动时,其速度大小为8 m/s

B. 导体棒MN匀速运动时,MN两端的电压为1 V

C. 导体棒MN匀速运动时,电容器所带的电量为2×10^{-5} C

D. 0~1 s内,通过导体棒MN的电荷量为0.4 C

5.(多选)如图所示,两光滑平行金属导轨MN与PQ的间距为L,质量为m、电阻为r的导体棒ab垂直跨在导轨上,且与导轨接触良好,整个装置处于垂直纸面向里的匀强磁场中,磁感应强度大小为B。电路中电容器电容为C,定值电阻阻值为R,其他电阻不计。现给导体棒ab一水平向右的初速度,当电路稳定后,导体棒ab以速度v向右匀速运动,则(　　)



A. 电容器两板间的电压小于BLv

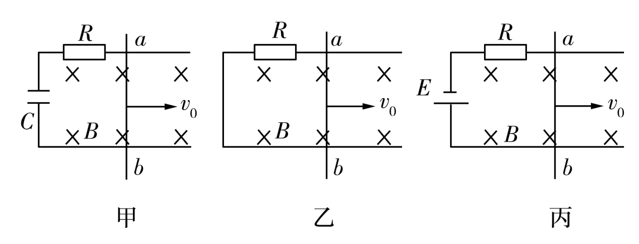
B. 电容器所带电荷量为$CBLv$

C. 电阻两端的电压为$\dfrac{RBLv}{R+r}$

D. 导体棒ab的初速度为$v+\dfrac{CB^2L^2v}{m}$

6.(多选)在如图甲、乙、丙中,除导体棒ab可动外,其余部分均固定不动,图甲中的电容器C原来不带电。导体棒和导轨始终接触良好,设导体棒、导轨和直流电源的电阻均可忽略,导体棒和导轨间的摩擦也不计,图

中装置均在水平面内，且都处于垂直水平面方向（即纸面）向下的匀强磁场中，导轨足够长。现给导体棒 ab 一个向右的初速度v_0，在甲、乙、丙三种情形下导体棒 ab 的最终运动状态是（　　）



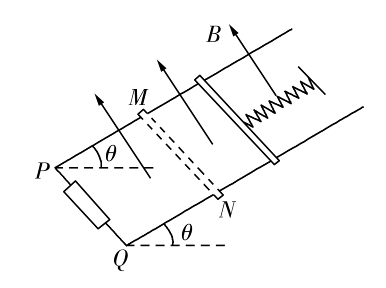
A. 三种情形下导体棒 ab 最终都做匀速运动

B. 甲、丙中，导体棒 ab 最终将做匀速运动

C. 甲、乙中，导体棒 ab 最终将做匀速运动

D. 乙中，导体棒 ab 最终静止

7.（多选）如图所示，两根平行光滑金属导轨间距为 L，导轨电阻不计，下端 PQ 接有阻值为 R 的电阻，导轨平面与水平面的夹角为 θ，且处在磁感应强度大小为 B、方向垂直于导轨平面斜向上的匀强磁场中。一质量为 m、接入电路的电阻也为 R 的导体棒与固定弹簧相连后放在导轨上，静止时导体棒处于导轨的 MN 处。已知弹簧的劲度系数为 k，弹簧的中心轴线与导轨平行。现将导体棒从弹簧处于自然长度时由静止释放，整个运动过程中导体棒始终与导轨垂直并保持良好接触。重力加速度为 g，下列说法正确的是（　　）



A. 当导体棒沿导轨向下运动时通过电阻 R 的电流方向为由 P 到 Q

B. 当导体棒的速度最大时，弹簧的伸长量为$\dfrac{mg\sin\theta}{k}$

C. 导体棒最终静止时弹簧的弹性势能为 E_p，则导体棒从开始运动到停止运动的过程中，回路中产生的焦耳热为$\dfrac{m^2g^2\sin^2\theta}{k}-E_p$

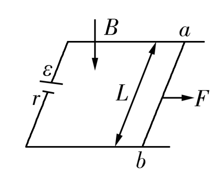
D. 若导体棒第一次运动到 MN 处时速度为 v，则此时导体棒的加速度大小为$\dfrac{B^2L^2v}{2mR}$

8. 如图所示，水平放置的 U 形金属框架中接有电源，电源的电动势为 ε，内阻为 r，框架上放置一质量为 m、电阻为 R 的金属杆，它可以在框架上无摩擦地滑动，框架两边相距 L，匀强磁场的磁感应强度大小为 B，方向竖直向下。当 ab 杆受到水平向右的恒力 F 后开始向右滑动，求：

（1）ab 杆从静止开始向右滑动，启动时的加速度；

（2）ab 杆可以达到的最大速度v_{max}；

（3）ab 杆达到最大速度v_{max}时电路中每秒放出的热量 Q。



2.7 专题五:电磁感应中的双杆问题

知识清单

(一)双杆模型

1. 模型特点

(1)一杆切割时,分析同单杆类似。

(2)两杆同时切割时,回路中的感应电动势由两杆共同决定,$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=Bl(v_1-v_2)$。

2. 电磁感应中的“双杆”问题分析(如下表)

(1)初速度不为零,不受其他水平外力的作用。

	光滑的平行导轨	光滑不等距导轨
示意图	质量 $m_1=m_2$ 电阻 $r_1=r_2$ 长度 $l_1=l_2$	质量 $m_1=m_2$ 电阻 $r_1=r_2$ 长度 $l_1=2l_2$
运动分析	杆 MN 做变减速运动,杆 PQ 做变加速运动,稳定时,两杆的加速度均为零,以相等的速度$\frac{v_0}{2}$匀速运动	稳定时,两杆的加速度均为零,两杆的速度之比为 1∶2
能量分析	一部分动能转化为内能,$Q=-\Delta E_k$	

(2)初速度为零,一杆受到恒定水平外力的作用。

	光滑的平行导轨	不光滑平行导轨
示意图	质量 $m_1=m_2$　电阻 $r_1=r_2$ 长度 $l_1=l_2$	摩擦力 $F_{f1}=F_{f2}$　质量 $m_1=m_2$ 电阻 $r_1=r_2$　长度 $l_1=l_2$

续表

	光滑的平行导轨	不光滑平行导轨
运动分析	开始时,两杆做变加速运动;稳定时,两杆以相同的加速度做匀加速运动	开始时,若 $F\leqslant 2F_f$,则 PQ 杆先变加速后匀速运动,MN 杆静止。若 $F>2F_f$,PQ 杆先变加速后匀加速运动,MN 杆先静止后变加速最后和 PQ 杆同时做匀加速运动,且加速度相同
能量分析	外力做功转化为动能和内能,$W_F=\Delta E_k+Q$	外力做功转化为动能和内能(包括焦耳热和摩擦热),$W_F=\Delta E_k+Q_{焦耳}+Q_f$

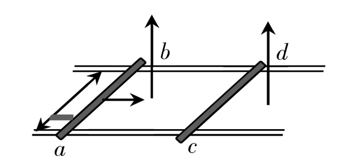
课堂笔记

典型例题

【例1】两根足够长的固定的平行金属导轨位于同一水平面内,两导轨间的距离为 L。导轨上面横放着两根导体棒 ab 和 cd,构成矩形回路,如图所示。两根导体棒的质量皆为 m,电阻皆为 R,回路中其余部分的电阻可不计。在整个导轨平面内都有竖直向上的匀强磁场,磁感应强度为 B。设两导体棒均可沿导轨无摩擦地滑行。开始时,cd 棒静止,ab 棒有指向 cd 棒的初速度 v_0。若两导体棒在运动中始终不接触,求:

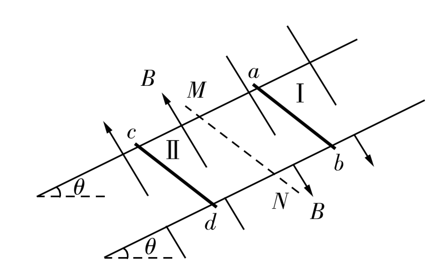
(1)在运动中产生的焦耳热最多是多少?

(2)当 ab 棒的速度变为初速度的 $\frac{3}{4}$ 时,cd 棒的加速度是多少?



【例2】(多选)如图所示,两根足够长的平行金属导轨固定在倾角 $\theta=30°$ 的斜面上,导轨电阻不计,间距 $L=0.4\ \text{m}$。导轨所在空间被分成区域Ⅰ和Ⅱ,两区域的边界与斜面的交线为 MN,Ⅰ中的匀强磁场方向垂直斜面向下,Ⅱ中的匀强磁场方向垂直斜面向上,两磁场的磁感应强度大小均为 $B=0.5\ \text{T}$。在区域Ⅰ中,将质量 $m_1=$

0.1 kg、电阻 $R_1=0.1\ \Omega$ 的金属条 ab 放在导轨上,ab 刚好不下滑。然后,在区域Ⅱ中将质量 $m_2=0.4$ kg、电阻 $R_2=0.1\ \Omega$ 的光滑导体棒 cd 置于导轨上,由静止开始下滑。cd 在滑动过程中始终处于区域Ⅱ的磁场中,ab、cd 始终与导轨垂直且两端与导轨保持良好接触,g 取 10 m/s^2。在此过程中,下列说法正确的是(　　)



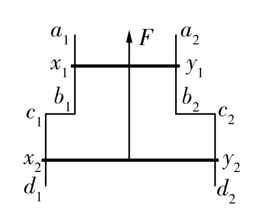
A. cd 下滑的过程中,ab 中的电流由 a 流向 b

B. ab 刚要向上滑动时,cd 的速度 $v=5$ m/s

C. 若从 cd 开始下滑到 ab 刚要向上滑动的过程中,cd 滑动的距离 $s=3.8$ m,则此过程中 ab 上产生的热量 $Q=1.3$ J

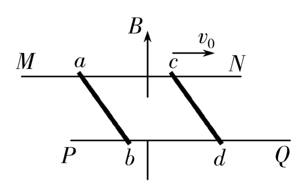
D. 若从 cd 开始下滑到 ab 刚要向上滑动的过程中,cd 滑动的距离 $s=3.8$ m,则此过程中通过 ab 的电荷量 $q=1.9$ C

【例3】图中 $a_1b_1c_1d_1$ 和 $a_2b_2c_2d_2$ 为在同一竖直平面内的金属导轨,处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨所在平面(纸面)向里。导轨的 a_1b_1 段与 a_2b_2 段是竖直的,距离为 l_1;c_1d_1 段与 c_2d_2 段也是竖直的,距离为 l_2。x_1y_1 与 x_2y_2 为两根用不可伸长的绝缘轻线相连的金属细杆,质量分别为 m_1 和 m_2,它们都垂直于导轨并与导轨保持光滑接触。两杆与导轨构成的回路的总电阻为 R。F 为作用于金属杆 x_1y_1 上的竖直向上的恒力。已知两杆运动到图示位置时,已匀速向上运动,求此时作用于两杆的重力的功率大小和回路电阻上的热功率。



课后训练

1. 如图所示,宽为 L 的两固定光滑金属导轨水平放置,空间存在竖直向上的匀强磁场,磁感应强度大小为 B。质量均为 m、电阻值均为 r 的两导体棒 ab 和 cd 静止置于导轨上,其间距也为 L,现给 cd 一向右的初速度 v_0。下列对它们之后的运动过程的说法不正确的是(　　)



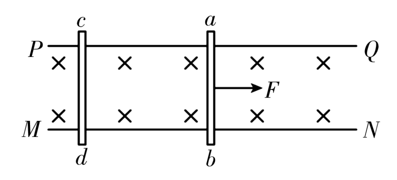
A. ab 的加速度越来越大,cd 的加速度越来越小

B. 回路产生的焦耳热为$\frac{1}{4}m{v_0}^2$

C. 通过 ab 的电荷量为$\frac{mv_0}{2BL}$

D. 两导体棒间的距离最终变为 $L+\frac{mv_0r}{B^2L^2}$

2. 如图所示,金属棒 ab、cd 与足够长的水平光滑金属导轨垂直且接触良好,匀强磁场垂直导轨所在的平面。ab 棒在恒力 F 的作用下向右运动,则(　　)



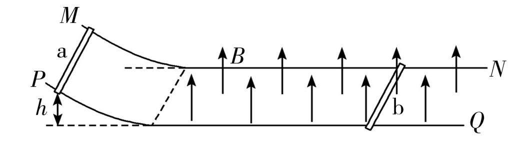
A. 安培力对 ab 棒做正功

B. 安培力对 cd 棒做负功

C. $abdca$ 回路的磁通量先增加后减少

D. 恒力 F 做的功等于回路产生的总热量和系统动能增量之和

3. 如图所示，两根足够长的平行光滑金属导轨 MN、PQ 放在水平面上，左端向上弯曲，导轨间距为 L，电阻不计，水平段导轨所处空间存在方向竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。有两导体棒 a、b 质量分别为 $m_a = m$、$m_b = 2m$，电阻值分别为 $R_a = R$、$R_b = 2R$。b 棒静止放置在水平导轨上足够远处，与导轨接触良好且与导轨垂直；a 棒在弧形导轨上距水平面 h 高度处由静止释放。运动过程中导体棒与导轨接触良好且始终与导轨垂直，重力加速度为 g，则下列说法错误的是(　　)



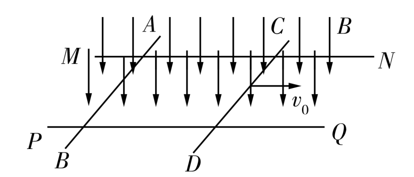
A. a 棒刚进入磁场时回路中的感应电流为 $\dfrac{BL\sqrt{2gh}}{R}$

B. a 棒刚进入磁场时，b 棒受到的安培力大小为 $\dfrac{B^2L^2\sqrt{2gh}}{3R}$

C. a 棒和 b 棒最终稳定时的速度大小为 $\dfrac{\sqrt{2gh}}{3}$

D. 从 a 棒开始下落到最终稳定的过程中，a 棒上产生的焦耳热为 $\dfrac{2}{9}mgh$

4. 如图所示，两固定光滑且足够长的金属导轨 MN、PQ 平行水平放置，其间距为 L，两根质量均为 m，长度也为 L 的金属棒 AB、CD 平行放置在两导轨上，电阻分别是 R_1、R_2，导轨电阻忽略不计，整个装置处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，现给 CD 棒一定的初速度 v_0，经过时间 Δt 后两棒处于稳定状态。在此过程中，下列说法正确的是(　　)



A. 若在稳定前的某时刻 CD 棒的速度为 v_1，AB 棒的速度为 v_2，则回路中的电流大小为 $\dfrac{BLv_1}{R_2} - \dfrac{BLv_2}{R_1}$

B. 从开始至最终稳定回路产生的焦耳热为 $\dfrac{3}{8}mv_0^2$

C. 在 Δt 内通过回路的电荷量为 $\dfrac{mv_0}{4BL}$

D. 处于稳定状态时两棒与导轨所围面积为 $\dfrac{mv_0}{2B^2L}(R_1 + R_2) + L^2$

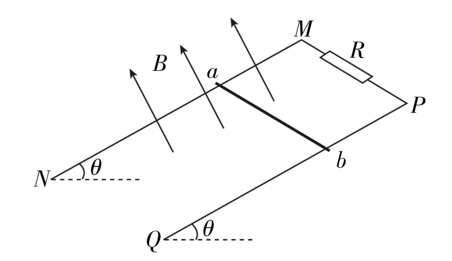
5. 如图所示，两根足够长的金属光滑导轨 MN、PQ 平行放置，导轨平面与水平面成 $\theta = 30°$ 角，间距 $L = 0.5$ m，导轨 M、P 两端接有阻值 $R = 5\ \Omega$ 的电阻，质量 $m = 0.2$ kg 的金属棒 ab 垂直导轨放置，金属棒 ab 和导轨电阻均不计。整个装置放在磁感应强度 $B = 2.0$ T 的匀强磁场中，磁场方向垂直导轨平面向上。金属棒 ab 由静止开始沿框架下滑到刚开始匀速运动时，通过电阻 R 上的电荷量 $q = 2$ C。(取 $g = 10\ \text{m/s}^2$)

(1)金属棒 ab 匀速运动时的速度 v 的大小；

(2)导体棒从静止滑到刚开始匀速运动时金属棒 ab 沿导轨平面运动的距离 x；

(3)导体棒从静止滑到刚开始匀速运动时

产生的焦耳热 Q 和经历的时间。

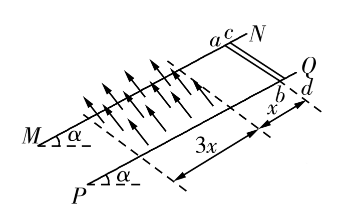


6. 如图所示,两根足够长的平行金属导轨 MN、PQ 与水平面的夹角 $\alpha=30°$,导轨光滑且电阻不计,导轨处在垂直导轨平面向上的有界匀强磁场中。两根电阻 R 都为 $2\ \Omega$,质量 m 都为 0.2 kg 的完全相同的细金属棒 ab 和 cd 垂直导轨并排靠紧放置在导轨上,与磁场上边界距离 $x=1.6$ m,有界匀强磁场宽度为 $3x$。先将金属棒 ab 由静止释放,金属棒 ab 刚进入磁场就恰好做匀速运动,此时立即由静止释放金属棒 cd,金属棒 cd 在出磁场前已做匀速运动。两金属棒在下滑过程中与导轨接触始终良好(取重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$)。求:

(1)金属棒 ab 刚进入磁场时棒中电流;

(2)金属棒 cd 在磁场中运动的过程中通过回路某一截面的电荷量;

(3)两根金属棒全部通过磁场的过程中回路产生的焦耳热。



2.8 专题六:电磁感应中的线框问题

知识清单

(一)求解思路

1. 要考虑电磁学中的有关规律,如楞次定律、法拉第电磁感应定律、左手定则、右手定则、安培力的计算公式等。
2. 要考虑力学中的有关规律,如牛顿运动定律、动能定理、能量守恒定律等,要将电磁学和力学的知识综合起来应用。

(二)求解步骤

1. 先做“源”的分析:分离出电路中由电磁感应所产生的电源,求出电源参数 E 和 r。
2. 再进行“路”的分析:分析电路结构,弄清串并联关系,求出相关部分的电流大小,以

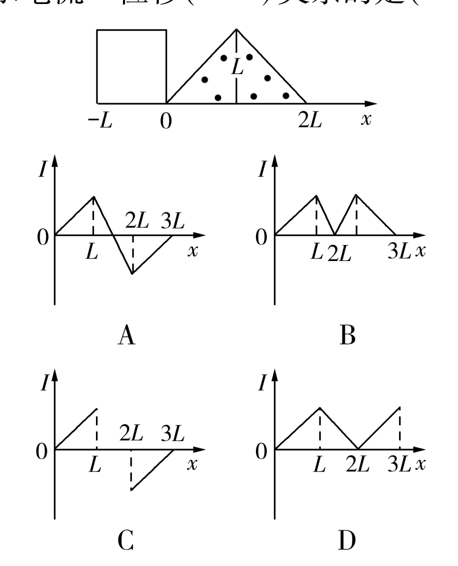
便求解安培力。

3. 然后是“力”的分析：分析力学研究对象的受力情况，尤其注意其所受的安培力。
4. 再后是“动”的分析：根据力和运动的关系，分析出正确的运动模型。
5. 最后是“能”的分析：寻找电磁感应过程和力学研究对象的运动过程中能量转化和守恒的关系。

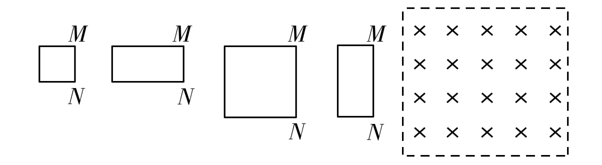
课堂笔记

典型例题

【例1】如图所示，等腰三角形内分布有垂直于纸面向外的匀强磁场，它的底边在 x 轴上且长为 $2L$，高为 L。纸面内一边长为 L 的正方形导框沿 x 轴正方向做匀速直线运动穿过磁场区域，在 $t=0$ 时刻恰好位于图中所示的位置。以顺时针方向为导线框中电流的正方向，在下面四幅图中能够正确表示电流－位移（$I-x$）关系的是（　　）



【例2】用相同导线绕制的四个闭合导体线框，已知短边的边长为 L，长边的边长为 $2L$，四个线框以相同的速度匀速进入右侧匀强磁场，如图所示。在每个线框进入磁场的过程中，M、N 两点间的电压分别为 U_a、U_b、U_c 和 U_d。下列大小关系正确的是（　　）



A. $U_a<U_b<U_c<U_d$

B. $U_a<U_b<U_d<U_c$

C. $U_a=U_b<U_d=U_c$

D. $U_b<U_a<U_d<U_c$

【例3】如图所示，边长为 L 的正方形导线框质量为 m，由距磁场 H 高处自由下落，其下边 ab 进入匀强磁场后，线圈开始做减速运动，直到其上边 cd 刚刚穿出磁场时，速度减为 ab 边进入磁场时的一半，磁场的宽度也为 L，则线框穿越匀强磁场过程中产生的焦耳热为（　　）

A. $2mgL$

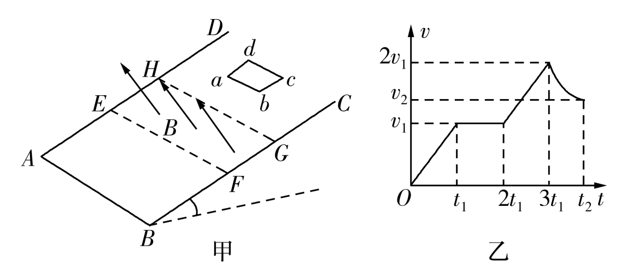
B. $2mgL+mgH$

C. $2mgL+\frac{3}{4}mgH$

D. $2mgL+\frac{1}{4}mgH$

【例4】如图甲，$ABCD$ 为一足够长的光滑绝缘斜面，$EFGH$ 范围内存在方向垂直斜面向上的匀强磁场，磁场边界 EF、HG 与斜面底边 AB 平行。一正方形金属框 $abcd$ 放在斜面上，ab 边平行于磁场边界。现使金属框从斜面上某处由静止释放，金属框从开始运动到 cd 边离开磁场的过程中，其运动的 $v-t$ 图像如图乙所示。已知金属框电阻为 R，质量为 m，重力加速度为 g，图乙中金属

框运动的各个时刻及对应的速度均为已知量,求:

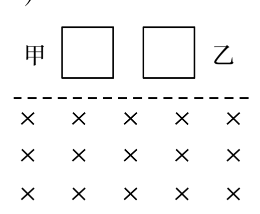


(1)斜面倾角的正弦值和磁场区域的宽度;

(2)金属框 cd 边到达磁场边界 EF 前瞬间的加速度;

(3)金属框穿过磁场过程中产生的焦耳热。

【例5】(多选)由相同材料的导线绕成边长相同的甲、乙两个正方形闭合线圈,两线圈的质量相等,但所用导线的横截面积不同,甲线圈的匝数是乙的2倍。现两线圈在竖直平面内从同一高度同时由静止开始下落,一段时间后进入一方向垂直于纸面的匀强磁场区域,磁场的上边界水平,如图所示。不计空气阻力,已知下落过程中线圈始终平行于纸面,上、下边保持水平。在线圈下边进入磁场后且上边进入磁场前,可能出现的是(　　)



A. 甲和乙都加速运动

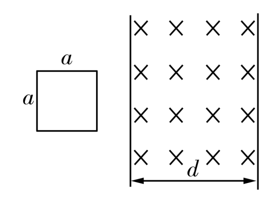
B. 甲和乙都减速运动

C. 甲加速运动,乙减速运动

D. 甲减速运动,乙加速运动

课后训练

1. 如图所示,在光滑的水平面上,有一垂直向下的匀强磁场分布在宽为 L 的区域内,有一个边长为 $a(a<L)$ 的正方形闭合线圈以初速 v_0 垂直磁场边界通过磁场后速度变为 $v(v<v_0)$,那么(　　)



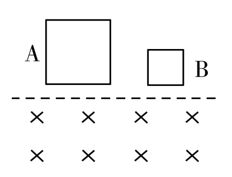
A. 完全进入磁场中时线圈的速度大于 $\frac{v_0+v}{2}$

B. 完全进入磁场中时线圈的速度等于 $\frac{v_0+v}{2}$

C. 完全进入磁场中时线圈的速度小于 $\frac{v_0+v}{2}$

D. 以上情况A、B均有可能,而C是不可能的

2. (多选)如图所示,A、B为不同金属制成的正方形线框,导线截面积相同,A的边长是B的2倍,A的密度是B的$\frac{1}{2}$,A的电阻是B的4倍,当它们的下边在同一高度竖直下落,垂直进入如图所示的磁场中,A框恰能匀速下落,那么(　　)



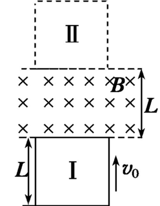
A. B框一定匀速下落

B. 进入磁场后，A、B 中感应电流之比是 2∶1

C. 两框全部进入磁场的过程中，通过截面的电荷量相等

D. 两框全部进入磁场的过程中，消耗的电能之比为 2∶1

3.（多选）如图所示，空间存在一有边界的条形匀强磁场区域，磁场方向与竖直平面（纸面）垂直，磁场边界的间距为 L。一个质量为 m、边长也为 L 的正方形导线框沿竖直方向运动，线框所在平面始终与磁场方向垂直，且线框上、下边始终与磁场的边界平行。$t=0$ 时刻导线框的上边恰好与磁场的下边界重合（图中位置Ⅰ），导线框的速度为 v_0。经历一段时间后，当导线框的下边恰好与磁场的上边界重合时（图中位置Ⅱ），导线框的速度刚好为零。此后，导线框下落，经过一段时间回到初始位置Ⅰ（不计空气阻力），则（　　）



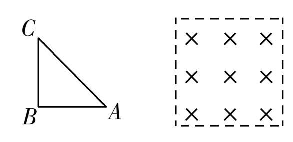
A. 上升过程中合力做的功与下降过程中合力做的功相等

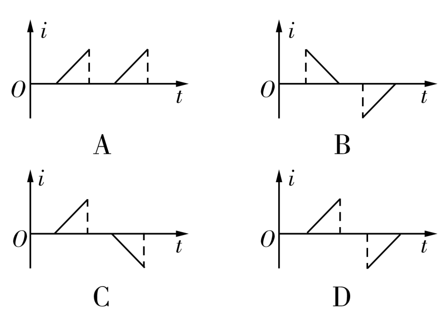
B. 上升过程中线框产生的热量比下降过程中线框产生的热量多

C. 上升过程中，导线框的加速度逐渐减小

D. 上升过程克服重力做功的平均功率小于下降过程重力的平均功率

4. 如图所示，有一闭合的等腰直角三角形导线框 ABC，若让它沿 BA 的方向匀速通过有明显边界的匀强磁场。从图示位置开始计时，在整个过程中，线框内的感应电流随时间变化的图像应是图中的（场区宽度大于直角边长，以逆时针方向为正）（　　）



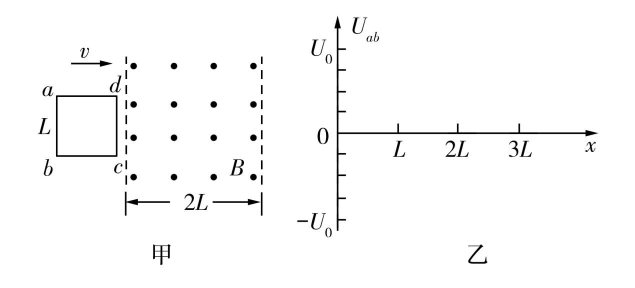


5. 如图甲所示。空间有一宽为 $2L$ 的匀强磁场区域，磁感应强度为 B，方向垂直纸面向外。$abcd$ 是由均匀电阻丝做成的边长为 L 的正方形线框，总阻值为 R。线框以垂直磁场边界的速度 v 匀速通过磁场区域。在运动过程中，线框 ab、cd 两边始终与磁场边界平行。设线框刚进入磁场的位置 $x=0$，x 轴沿水平方向向右。求：

（1）cd 边刚进入磁场时，ab 两端的电势差，并指明哪端电势高；

（2）线框穿过磁场的过程中，线框中产生的焦耳热；

（3）在下面的图乙中，画出 ab 两端电势差 U_{ab} 随距离 x 变化的图像。其中 $U_0=BLv$。

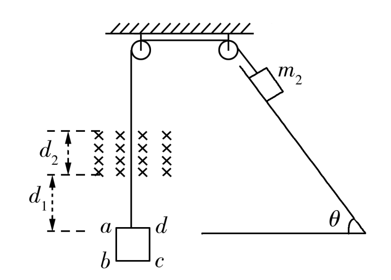


6. 如图所示,一边长 $L=0.2\ \text{m}$,质量 $m_1=0.5\ \text{kg}$,电阻 $R=0.1\ \Omega$ 的正方形导体线框 $abcd$,与一质量为 $m_2=2\ \text{kg}$ 的物块通过轻质细线跨过两定滑轮相连。起初 ad 边距磁场下边界为 $d_1=0.8\ \text{m}$,磁感应强度 $B=2.5\ \text{T}$,磁场宽度 $d_2=0.3\ \text{m}$,物块放在倾角 $\theta=53°$ 斜面上,物块与斜面间的动摩擦因数 $\mu=0.5$。现将物块由静止释放,经一段时间后发现当 ad 边从磁场上边缘穿出时,线框恰好做匀速运动。(g 取 $10\ \text{m/s}^2$,$\sin 53°=0.8$,$\cos 53°=0.6$)求:

(1)线框 ad 边从磁场上边缘穿出时速度的大小;

(2)线框刚刚全部进入磁场时动能的大小;

(3)整个运动过程线框中产生的焦耳热。



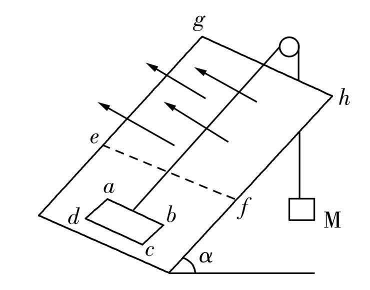
7. 如图所示,光滑斜面的倾角 $\alpha=30°$,在斜面上放置一矩形线框 $abcd$,ab 边的边长 $l_1=1\ \text{m}$,bc 边的边长 $l_2=0.6\ \text{m}$,线框的质量 $m=1\ \text{kg}$,电阻 $R=0.1\ \Omega$,线框通过细线与重物相连,重物 M 质量为 2 kg,斜面上 ef 线($ef\parallel gh$)的上方有垂直斜面向上的匀强磁场,磁感应强度 $B=0.5\ \text{T}$,如果线框从静止开始运动,进入磁场最初一段时间是匀速的,ef 线和 gh 的距离 $s=11.4\ \text{m}$,(取 $g=10\ \text{m/s}^2$),求:

(1)线框进入磁场前重物 M 的加速度;

(2)线框进入磁场时匀速运动的速度;

(3)ab 边由静止开始运动到 gh 处所用的时间;

(4)ab 边运动到 gh 处的速度大小和在线框由静止开始到运动到 gh 处的整个过程中产生的焦耳热。



2.9.1　专题七：电磁感应中的图像问题（一）

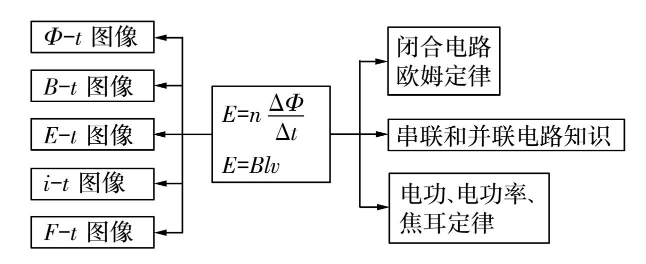
知识清单

（一）电磁感应图像的意义

图像可以帮助我们正确理解物体的运动过程。利用图像可以展现电磁感应过程，发现相关规律，求解相关问题。在电磁感应问题中涉及的物体运动，往往是加速度变化的变加速直线运动，使用图像法可以简便地求解结果。

（二）电磁感应图像的种类

1. 电磁感应相关参量随时间变化的图像：磁感应强度 $B-t$ 图像、磁通量 $\Phi-t$ 图像、感应电动势 $E-t$ 图像、感应电流 $i-t$ 图像等。
2. 电磁感应中切割问题涉及参量随位移变化的图像：感应电动势 $E-x$ 图像、感应电流 $I-x$ 图像、电势差 $U-x$ 等图像。
3. 与电磁感应相结合涉及的其他量的图像：电功率 $P-R$ 图像、导体棒受安培力或受合力 $F-t$ 图像、导体棒运动位移 $x-t$ 图像、速度 $v-t$ 图像、加速度 $a-t$ 图像等。



（三）图像问题的求解类型

类型	根据电磁感应过程选图像	根据图像分析判断电磁感应过程
求解流程	电磁感应过程（或磁通量的变化情况）→ 法拉第电磁感应定律、楞次定律 → 感应电动势（或感应电流）随时间变化的图像	感应电动势（或感应电流）随时间变化的图像 → 法拉第电磁感应定律、楞次定律 → 电磁感应的可能过程

（四）电磁感应图像的处理方法

1. 四明确一理解

(1)明确图像所描述的物理意义；明确各种正、负号的含义；明确斜率的含义；明确图像和电磁感应过程之间的对应关系。

(2)理解三个相似关系及其各自的物理意义：$v-\Delta v-\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，$B-\Delta B-\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$，$\Phi-\Delta\Phi-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$。

2. 电磁感应中图像问题的分析，要抓住磁通量的变化是否均匀，从而推知感应电动势（或电流）是否大小恒定，用楞次定律或右手定则判断出感应电动势（或电流）的方向，从而确定其正负，以及在坐标中的范围。

3. 分析回路中的感应电动势或感应电流的大小及其变化规律，要利用法拉第电磁感应定律来分析，有些图像问题还要画出等效电路来辅助分析。
4. 要正确解释图像问题，必须既能根据图像的定义把图像反映的规律对应到实际过程中去，又能把实际过程对应到图像中去。最终根据实际过程的物理规律进行判断，这样才抓住了解决图像问题的根本。

（五）解决图像问题的一般步骤

1. 明确图像的种类，即是 $B-t$ 图还是 $\Phi-t$ 图，或者 $E-t$ 图、$i-t$ 图等。
2. 分析电磁感应的具体过程。
3. 用右手定则或楞次定律确定方向对应关系。
4. 结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿定律等规律写出函数关系式。
5. 根据函数关系式，进行数学分析，如分析斜率的变化、截距等。

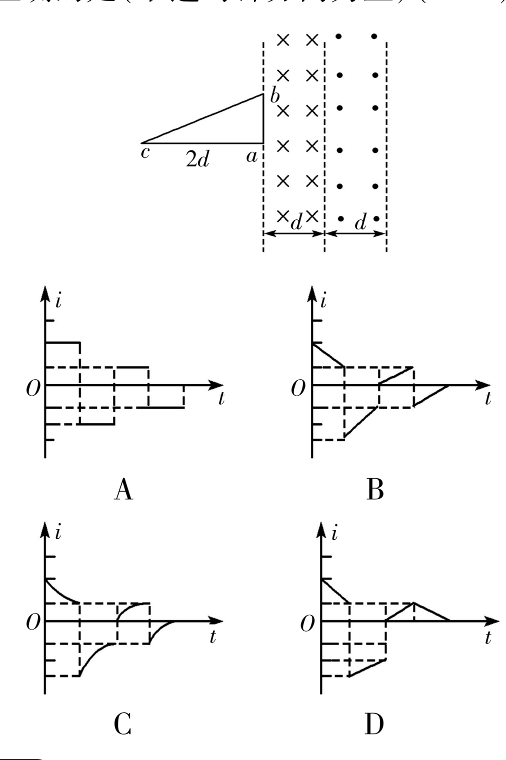
（六）应对电磁感应中图像类选择题的两个常用方法

排除法	定性地分析电磁感应过程中物理量的变化趋势（增大还是减小）、变化快慢（均匀变化还是非均匀变化），特别是分析物理量的正负，以排除错误的选项。
函数法	根据题目所给条件定量地写出两个物理量之间的函数关系，然后由函数关系对图像进行分析和判断。

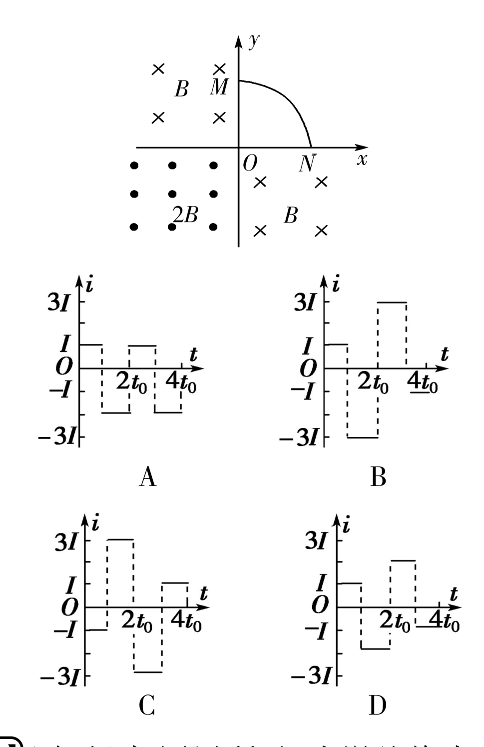
课堂笔记

典型例题

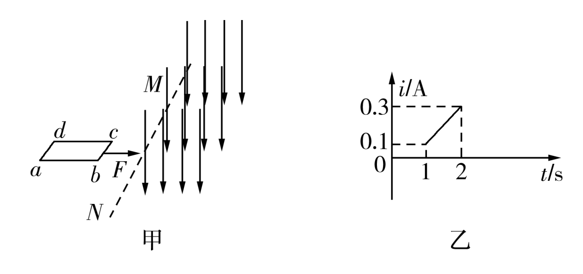
【例 1】如图所示，两磁感应强度大小相等、方向相反的有界磁场，磁场区域宽度均为 d。一底边长为 $2d$ 的三角形金属线框以一定的速度匀速通过两磁场的过程中，三角形线框中的感应电流 i 随时间 t 的变化图像正确的是（取逆时针方向为正）（　　）



【例 2】将一均匀导线围成一圆心角为 90°的扇形导线框 OMN，其中 $OM=R$，圆弧 MN 的圆心为 O 点，将导线框的 O 点置于如图所示的直角坐标系的原点，其中第二和第四象限存在垂直纸面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 B，第三象限存在垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 $2B$。从 $t=0$ 时刻开始让导线框以 O 点为圆心，以恒定的角速度 ω 沿逆时针方向做匀速圆周运动，假定沿 ONM 方向的电流为正，则线框中的电流随时间的变化图像正确的是（　　）



【例3】(多选)如图甲所示,光滑绝缘水平面上,虚线 MN 的右侧存在磁感应强度 $B=2$ T的匀强磁场,MN 的左侧有一质量 $m=0.1$ kg 的矩形线圈 $abcd$,bc 边长 $L_1=0.2$ m,电阻 $R=2$ Ω。$t=0$ 时,用一恒定拉力 F 拉线圈,使其由静止开始向右做匀加速运动,经过时间 1 s,线圈的 bc 边到达磁场边界 MN,此时立即将拉力 F 改为变力,又经过 1 s,线圈恰好完全进入磁场。整个运动过程中,线圈中感应电流 i 随时间 t 变化的图像如图乙所示,则(　　)



甲　　　　　　　　乙

A. 恒定拉力 F 的大小为 0.05 N

B. 线圈在第 2 s 内的加速度大小为 1 m/s^2

C. 线圈 ab 边长 $L_2=0.5$ m

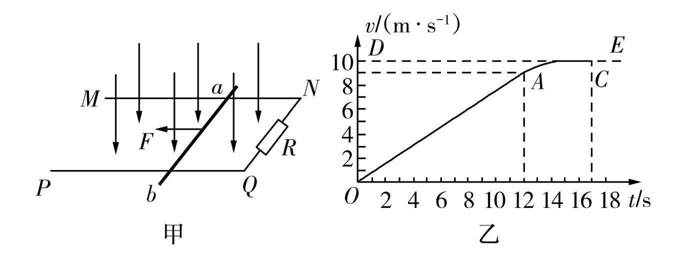
D. 在第 2 s 内流过线圈的电荷量为 0.2 C

【例4】如图甲所示,空间中存在 $B=0.5$ T,方向竖直向下的匀强磁场。MN、PQ 是处于同一水平面内相互平行的粗糙长直导轨,间距 $L=0.2$ m,R 是连在导轨一端的电阻,ab 是跨接在导轨上质量 $m=0.1$ kg 的导体棒。从零时刻开始,通过一小型电动机对 ab 棒施加一个牵引力 F,方向水平向左,使其从静止开始沿导轨做加速运动,此过程中棒始终保持与导轨垂直且接触良好。图乙所示的是 ab 棒的 $v-t$ 图像,其中 OA 是直线,AC 是曲线,DE 是曲线图的渐进线。小型电动机在 12 s 末达到额定功率,$P_{额}=4.5$ W,此后功率保持不变,除 R 以外其余部分电阻不计,$g=10$ m/s^2。

(1)求导体棒在 0 ~ 12 s 内的加速度大小;

(2)求导体棒与导轨间的动摩擦因数 μ 及电阻 R 的阻值;

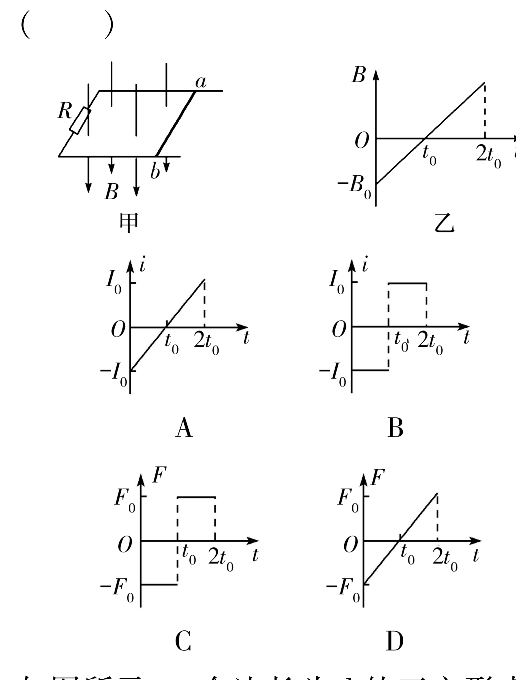
(3)若 $t=17$ s 时,导体棒 ab 达到的最大速度,0 ~ 17 s 内 ab 棒共发生位移 100 m,试求 12 ~ 17 s 内,R 上产生的热量是多少?



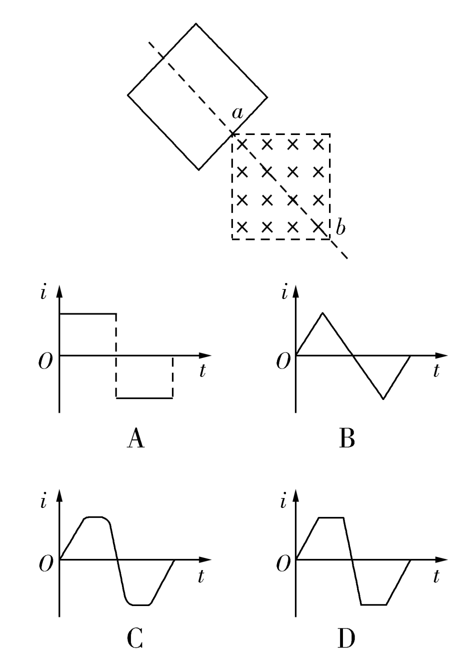
甲　　　　　　　　乙

课后训练

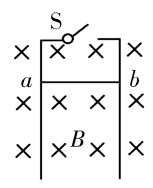
1. 如图甲所示,光滑导轨水平放置在竖直方向的匀强磁场中,匀强磁场的磁感应强度 B 随时间的变化规律如图乙所示(规定向下为正方向),导体棒 ab 垂直导轨放置,除电阻 R 的阻值外,其余电阻不计,导体棒 ab 在水平外力 F 的作用下始终处于静止状态。规定 $a\to b$ 的方向为电流的正方向,水平向右的方向为外力的正方向,则在 $0\sim2t_0$ 时间内,能正确反映流过导体棒 ab 的电流与时间或外力与时间关系的图线是( )

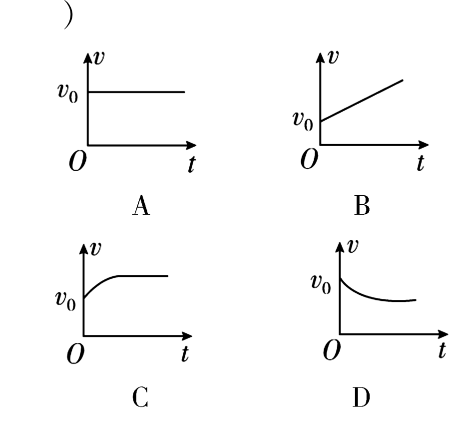


2. 如图所示,一个边长为 l 的正方形虚线框内有垂直于纸面向里的匀强磁场;一个边长也为 l 的正方形导线框所在平面与磁场方向垂直;虚线框对角线 ab 与导线框的一条边垂直,ba 的延长线平分导线框。在 $t=0$时,使导线框从图示位置开始以恒定速度沿 ab 方向移动,直到整个导线框离开磁场区域。以 i 表示导线框中感应电流的强度,取逆时针方向为正。下列表示 $i-t$ 关系的图像中,可能正确的是( )

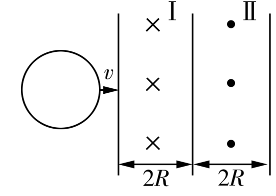


3. 如图所示,两根平行光滑导轨竖直放置,相距 $L=0.1$ m,处于垂直轨道平面的匀强磁场中,磁感应强度 $B=10$ T,质量 $m=0.1$ kg,电阻为 $R=2$ Ω 的金属杆 ab 接在两导轨间,在开关 S 断开时让 ab 自由下落。ab 下落过程中,始终保持与导轨垂直并与之接触良好,设导轨足够长且电阻不计,取 $g=10$ m/s^2,当下落 $h=0.8$ m 时,开关 S 闭合。若从开关 S 闭合时开始计时,则 ab 下滑的速度 v 随时间 t 变化的图像是( )

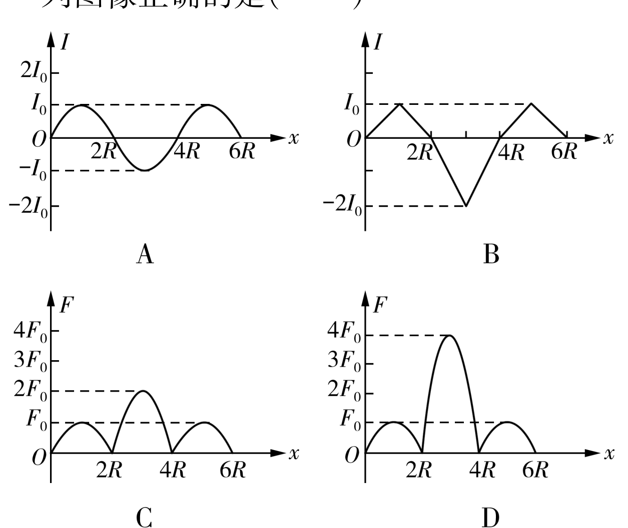




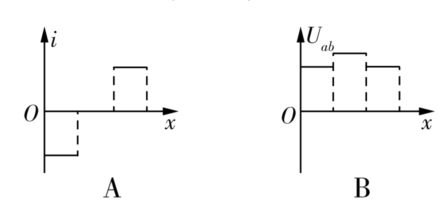
4. 空间中存在如图所示的磁场,Ⅰ、Ⅱ区域的宽度均为 $2R$,磁感应强度均为 B(Ⅰ区域垂直纸面向里,Ⅱ区域垂直纸面向外),半

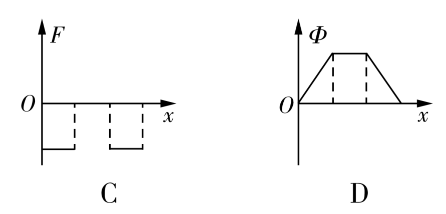


径为 R 的圆形导线框在外力作用下以速度 v 匀速通过磁场区域,设任意时刻导线框中电流为 I(逆时针为正),导线框所受安培力为 F(向左为正),从导线框刚进入Ⅰ区域开始将向右运动的位移记为 x,则下列图像正确的是(　　)

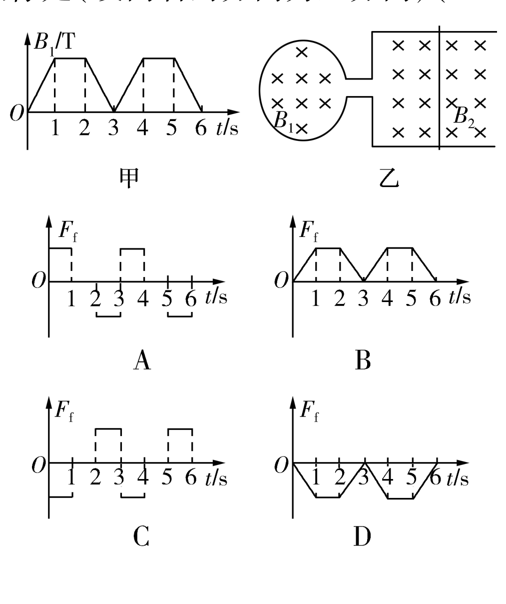


5. 如图所示,有界匀强磁场宽度为 $2L$,边长为 L 的正方形金属框匀速穿过磁场。以磁场左边界上的 O 点为坐标原点建立 x 轴,则线框中的感应电流 i、ab 边两端的电压 U_{ab}、线框所受安培力 F、穿过线框的磁通量 Φ 随位移 x 的变化图像一定错误的是(　　)





6. 在水平面桌上,一个面积为 S 的圆形金属框置于匀强磁场中,线框平面与磁场垂直。磁感应强度 B_1 随时间的变化关系如图甲所示,0 ~ 1 s 内磁场方向垂直平面向里。圆形金属框与一个平行金属导轨相连接,导轨上放置一根导体棒,导体棒的长为 l,电阻为 R 且与导轨接触良好,其余各处电阻不计。导体棒处于另一匀强磁场中,其磁感应强度恒定为 B_2,方向垂直导轨平面向里,如图乙所示,若导体棒始终保持静止,则其所受的静摩擦力 F_f 随时间变化的图像是(设向右的方向为正方向)(　　)



2.9.2　专题八:电磁感应中的图像问题(二)

知识清单

(一)解题方法

1. 找规律:找到导体或磁场做什么样的变化,变化规律如何,并根据规律列式。
2. 找关系:导体或磁场的变化会使电阻、闭合电路面积或磁通量等发生什么变化?设出自变量,将其他的变化量用这个自变量表

示出来，应用公式找到各个物理量之间的函数关系。

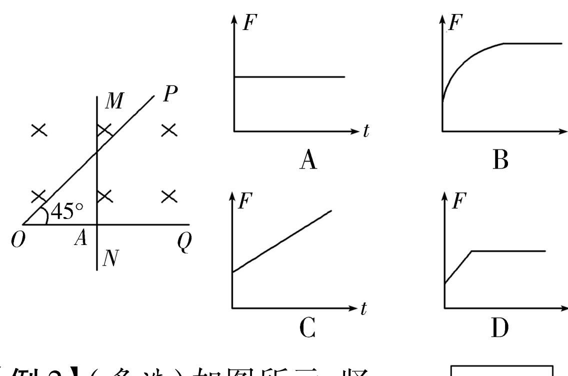
（二）几种常见的图像

$F-t$ 图像；$v-t$ 图像；$i-t$ 图像；$U-t(x)$ 图像；综合图像。

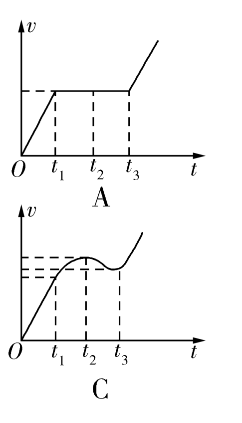


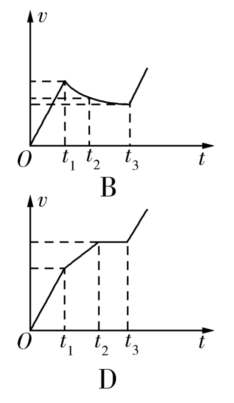
典型例题

【例 1】如图的匀强磁场中有一根弯成 45°的金属线 POQ，其所在平面与磁场垂直，长直导线 MN 与金属线紧密接触，起始时 $OA=l_0$，且 $MN\perp OQ$，所有导线单位长度的电阻均为 r，MN 运动的速度为 v，使 MN 匀速运动的外力为 F，则外力 F 随时间变化的图像是（　　）

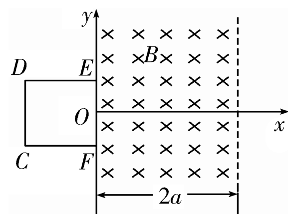


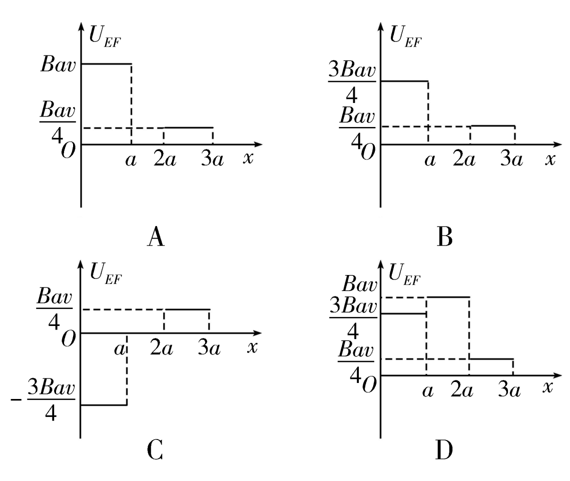
【例 2】（多选）如图所示，竖直平面（纸面）两水平线间存在宽度为 d 的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。一质量为 m、边长也为 d 的正方形线圈从磁场上方某处自由落下，t_1 时刻线圈的下边进入磁场，t_2 时刻线圈的上边进入磁场，t_3 时刻线圈上边离开磁场。已知线圈平面在下落过程中始终与磁场方向垂直，且线圈上、下边始终与磁场边界平行，不计空气阻力，则线圈下落过程中的 $v-t$ 图像可能正确的是（　　）





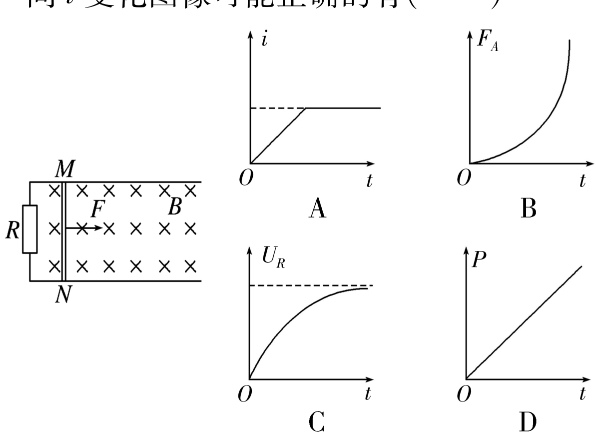
【例 3】如图所示，垂直于纸面向里的匀强磁场的区域宽度为 $2a$，磁感应强度的大小为 B。一边长为 a、电阻为 $4R$ 的正方形均匀导线框 $CDEF$ 从图示位置开始沿 x 轴正方向以速度 v 匀速穿过磁场区域。关于线框 EF 两端的电压 U_{EF} 与线框移动距离 x 的关系，下列图像正确的是（　　）





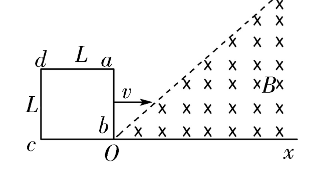
【例 4】（多选）如图所示，电阻不计、间距为 l 的光滑平行金属导轨水平放置于磁感应强度为 B、方向竖直向下的匀强磁场中，导轨左端接一定值电阻 R。质量为 m、电阻为 r 的金属棒 MN 置于导轨上，受到垂直于金属棒的水平外力 F 的作用由静止开始运

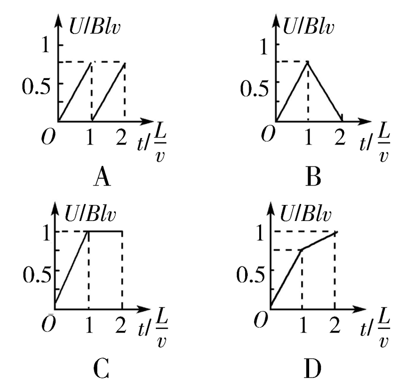
动，外力 F 与金属棒速度 v 的关系是 $F=F_0+kv$（F_0、k 是常量），金属棒与导轨始终垂直且接触良好。金属棒中感应电流为 i，受到的安培力大小为 F_A，电阻 R 两端的电压为 U_R，感应电流的功率为 P，它们随时间 t 变化图像可能正确的有（　　）



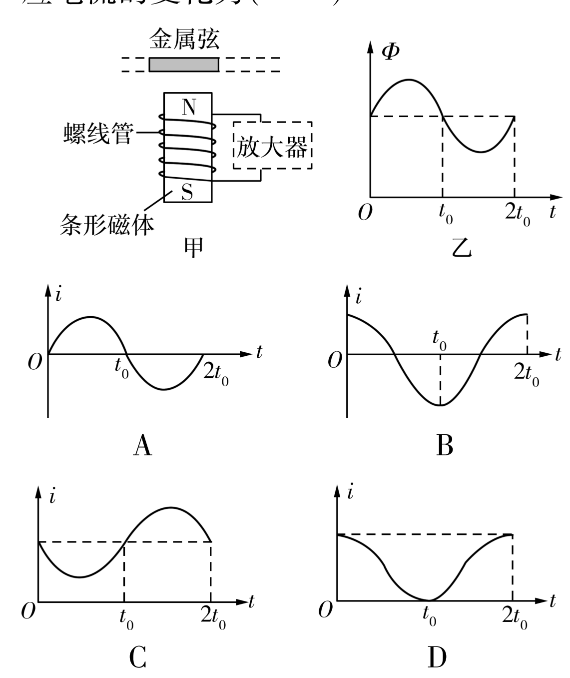
课后训练

1. 如图所示，$abcd$ 是边长为 L、每边电阻均相同的正方形导体线框，既维持线框以恒定的速度 v 沿 x 轴运动，并穿过倾角为45°的三角形匀强磁场区域，磁场的磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里。线框 b 点在 O 位置时开始计时，则在 $t=\dfrac{2L}{v}$ 时间内，a、b 二点的电势差 U 随时间 t 的变化图像为（　　）

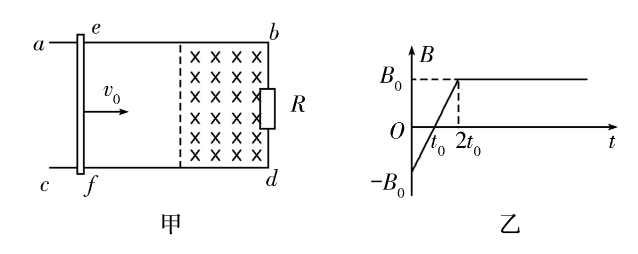


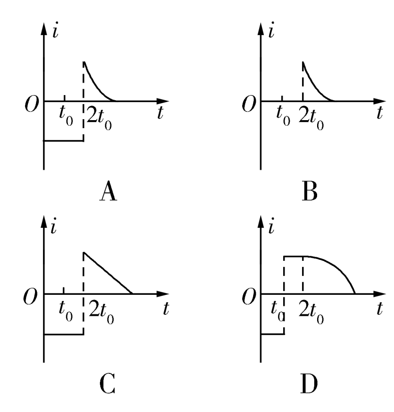


2. 电吉他是利用电磁感应原理工作的一种乐器。如图甲所示为电吉他的拾音器的原理图，在金属弦的下方放置一个连接到放大器的螺线管。一条形磁体固定在管内，当拨动金属弦后，螺线管内就会产生感应电流，经一系列转化后可将电信号转为声音信号，若由于金属弦的振动，螺线管内的磁通量随时间的变化如图乙所示，则对应感应电流的变化为（　　）

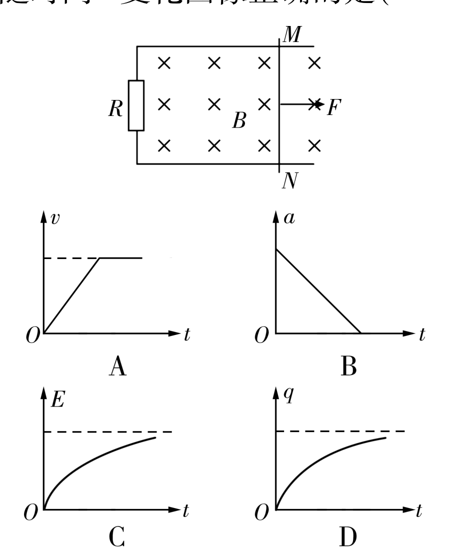


3. 如图甲所示，在水平面上固定有平行长直金属导轨 $abcd$，bd 端接有电阻 R。导体棒 ef 垂直轨道放置在光滑导轨上，导轨电阻不计。导轨右端区域存在垂直导轨面的匀强磁场，且磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图乙所示。在 $t=0$ 时刻，导体棒以速度 v_0 从导轨的左端开始向右运动，经过时间 $2t_0$ 开始进入磁场区域，取磁场方向垂直纸面向里为磁感应强度 B 的正方向，回路中顺时针方向为电流正方向，则回路中的电流随时间 t 的变化规律图像可能是（　　）

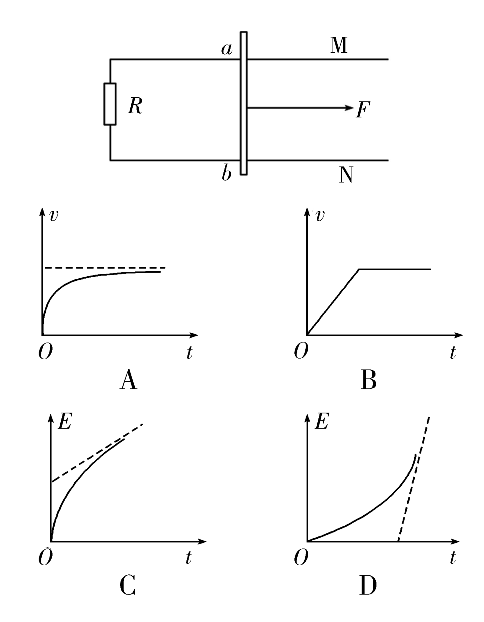




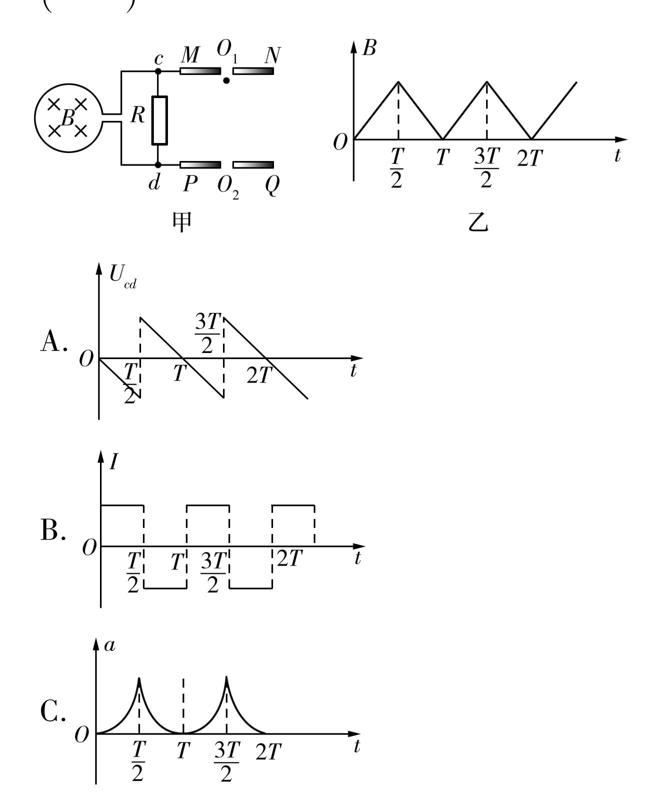
4. 如图所示,两光滑平行长直导轨水平放置在磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场与导轨所在平面垂直,已知金属棒 MN 能沿导轨自由滑动,导轨一端跨接一个定值电阻 R,金属棒与导轨电阻不计。金属棒在恒力 F 作用下从静止开始沿导轨向右运动,在以后过程中,金属棒速度 v、加速度 a、感应电动势 E 以及通过电阻 R 的电荷量 q 随时间 t 变化图像正确的是(　　)

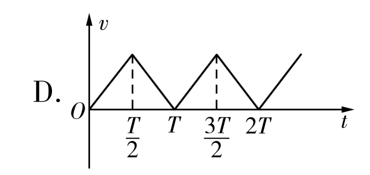


5. (多选)如图所示,M、N 为同一水平面内的两条平行长直导轨,左端串接电阻 R,金属杆 ab 垂直导轨放置,金属杆和导轨的电阻不计,杆与导轨间接触良好且无摩擦,整个装置处于竖直方向的匀强磁场中。现对金属杆施加一个与其垂直的水平方向的恒力 F,使金属杆从静止开始运动。在运动过程中,如图所示,金属杆的速度大小为 v,R 上消耗的总能量为 E,则下列关于 v、E 随时间变化的图像可能正确的是(　　)



6. 如图甲,圆形金属框通过长导线与平行金属板 MN 和 PQ 连接,框内有如图乙所示周期性变化的磁场(规定垂直纸面向里为磁场的正方向),导线上 c、d 接有定值电阻 R,O_1、O_2 是金属板上正对的两个小孔。$t=0$ 时刻,从 O_1 孔内侧静止释放一个离子(不计重力),离子经过时间 Δt 从 O_2 孔射出,已知 $\Delta t>2T$,规定从 c 经 R 到 d 为电流 I 的正方向,从 O_1 指向 O_2 为离子速度 v 和加速度 a 的正方向,则下列图像正确的是(　　)



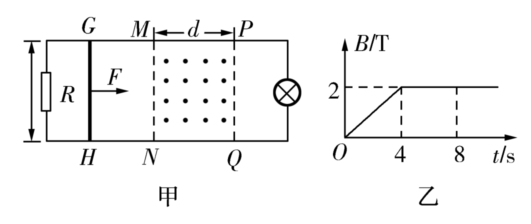
D. 

7. 两条彼此平行间距为 $l=0.5$ m 的光滑金属导轨水平固定放置，导轨左端接阻值 $R=2\ \Omega$ 的电阻，右端接阻值 $R_L=4\ \Omega$ 的小灯泡，如图甲所示。在导轨的 $MNQP$ 矩形区域内有竖直向上的匀强磁场，MP 的长 $d=2$ m，$MNQP$ 区域内磁场的磁感应强度 B 随时间 t 的关系如图乙所示。垂直导轨跨接一金属杆，金属杆的电阻 $r=2\ \Omega$，两导轨电阻不计。在 $t=0$ 时刻，用垂直于金属杆组水平恒力 F 拉金属杆，使金属杆由静止开始从 GH 位置向右运动，在金属杆从 GH 位置运动到 PQ 位置的过程中，小灯泡的亮度一直没有变化。求：

(1)通过小灯泡的电流 I_L；

(2)水平恒力 F 的大小；

(3)金属杆的质量 m。



甲　　　　乙

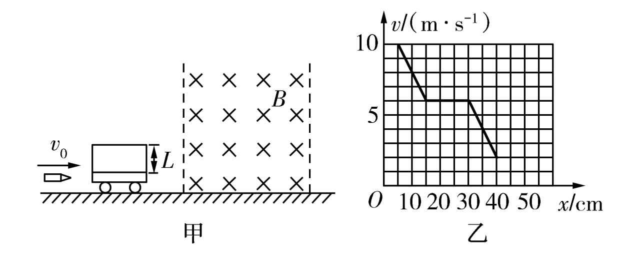
8. 如图甲所示，在质量为 $M=1$ kg 的小车上，竖直固定着一个质量为 $m=0.2$ kg、宽 $L=0.05$ m、总电阻 $R=100\ \Omega$，$n=100$ 匝的矩形线圈。线圈和小车一起静止在光滑水平面上，现有一子弹以 $v_0=110$ m/s 的水平速度射入小车中，并立即与小车(包括线圈)一起运动，速度为 $v_1=10$ m/s，随后穿过与线圈平面垂直，磁感应强度 $B=1.0$ T 的水平有界匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。已知子弹射入小车后，小车运动的速度随车的位移变化的图像，如图乙所示，求：

(1)子弹的质量 m_0；

(2)小车的位移 $x=10$ cm 时线圈中的电流大小 I；

(3)在线圈进入磁场的过程中通过线圈某一截面的电荷量 q；

(4)线圈和小车通过磁场的过程中线圈电阻的发热量 Q。



甲　　　　乙

2.10　涡流、电磁阻尼和电磁驱动

知识清单

(一)涡流

1. 当线圈中的电流随时间变化时,线圈附近的任何导体中都会产生感应电流,电流在导体中组成闭合回路,很像水中的旋涡,所以把它叫作涡电流,简称涡流。

2. 涡流大小的决定因素:磁场变化越快($\frac{\Delta B}{\Delta t}$越大),导体的横截面积 S 越大,导体材料的电阻率越小,形成的涡流就越大。

(二)电磁阻尼

当导体在磁场中运动时,导体中产生的感应电流会使导体受到安培力,安培力的方向总是阻碍导体的运动,这种现象称为电磁阻尼。

(三)电磁驱动

若磁场相对导体运动,在导体中会产生感应电流,感应电流使导体受到安培力的作用,安培力使导体运动起来,这种作用常常称为电磁驱动。

(四)电磁阻尼与电磁驱动的不同点与相同点

前者安培力做负功阻碍运动,后者安培力做正功促使运动,但都不违背楞次定律,它们的本质都是阻碍磁通量的变化,并且它们都是在阻碍导体与磁场之间的相对运动。即说明,安培力阻碍的是相对运动,但不一定阻碍对地运动。(可从能量角度对比)

课堂笔记

典型例题

【例1】判断下列说法的正误。

(1)电磁阻尼和电磁驱动均遵循楞次定律。(　　)

(2)电磁阻尼发生的过程,存在机械能向内能的转化。(　　)

(3)电磁驱动中有感应电流产生,电磁阻尼中没有感应电流产生。(　　)

(4)导体中有涡流时,导体没有和其他元件组成闭合回路,故导体不会发热。(　　)

【例2】(多选)下面四个图都与涡流有关,下列说法正确的是(　　)



真空冶炼炉


金属探测器


电磁炉


硅钢片

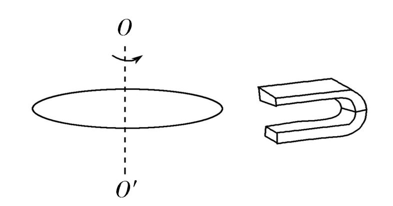
A. 真空冶炼炉是利用涡流来熔化金属的装置

B. 金属探测器是利用被测金属中产生的涡流来进行探测的

C. 电磁炉工作时在它的面板上产生涡流加热食物

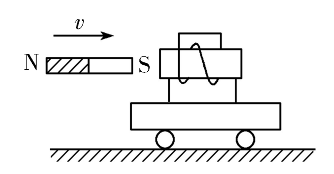
D. 变压器的铁芯用相互绝缘的硅钢片叠合而成是为了减小涡流

【例3】如图所示，使一个铜盘绕其竖直的轴 OO' 转动，且假设摩擦等阻力不计，转动是匀速的。现把一个蹄形磁铁移近铜盘，则（　　）



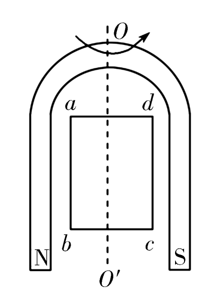
A. 铜盘的转动将变慢
B. 铜盘的转动将变快
C. 铜盘仍以原来的转速转动
D. 铜盘的转动速度是否变化，要根据磁铁上下两端的极性来决定

【例4】（多选）位于光滑水平面上的小车上放置一螺线管，一个比螺线管长的条形磁铁沿着螺线管的轴线以初速度 v 水平穿过，如图所示，在此过程中（　　）



A. 磁铁做匀速直线运动
B. 磁铁做减速运动
C. 小车向右做加速运动
D. 小车先加速后减速

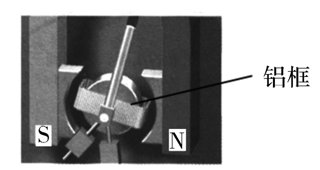
【例5】如图所示，蹄形磁铁和矩形线圈均可绕竖直轴 OO' 转动。从上向下看，当磁铁逆时针转动时，则（　　）



A. 线圈将逆时针转动，转速与磁铁相同
B. 线圈将逆时针转动，转速比磁铁小
C. 线圈将逆时针转动，转速比磁铁大
D. 线圈静止不动

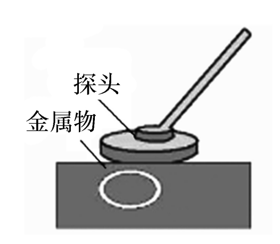
课后训练

1.（多选）如图所示，磁电式仪表的线圈通常是用铝框做骨架，把线圈绕在铝框上，线圈通电后在安培力作用下转动，铝框随之转动，在铝框内产生涡流，这样做的目的是（　　）



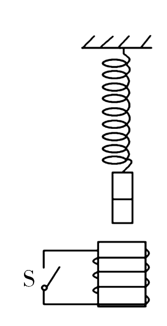
A. 防止涡流而设计的
B. 利用涡流而设计的
C. 起电磁阻尼的作用
D. 起电磁驱动的作用

2.（多选）如图所示是用涡流金属探测器探测地下金属物的示意图，下列说法正确的是（　　）



A. 探测器内的探测线圈会产生交变磁场
B. 只有有磁性的金属物才会被探测器探测到
C. 探测到地下的金属物是因为探头中产生了涡流
D. 探测到地下的金属物是因为金属物中产生了涡流

3. 弹簧上端固定，下端挂一条形磁铁，使磁铁上下振动，磁铁的振动幅度不变。若在振动过程中把线圈靠近磁铁，如图所示，观察磁铁的振幅将会发现（　　）



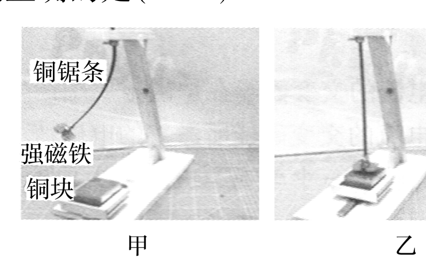
A. S 闭合时振幅逐渐减小，S 断开时振幅不变

B. S 闭合时振幅逐渐增大，S 断开时振幅不变

C. S 闭合或断开，振幅变化相同

D. S 闭合或断开，振幅都不发生变化

4. 如图甲所示是一个电磁阻尼现象演示装置，铜锯条上端固定在支架上，下端固定有强磁铁，将磁铁推开一个角度释放，它会在竖直面内摆动较长时间；如图乙所示，若铜块固定在其正下方（不与磁铁接触），则摆动迅速停止。关于该实验，下列分析与结论正确的是（　　）



甲　　　　乙

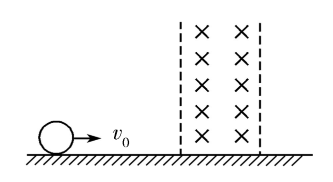
A. 如果将磁铁的磁极调换，重复实验将不能观察到电磁阻尼现象

B. 用闭合的铜制线圈替代铜块，重复实验将不能观察到电磁阻尼现象

C. 在图乙情况中，下摆和上摆过程中磁铁和锯条组成的系统机械能均减少

D. 在摆动过程中铜块不受磁铁的作用力

5. 如图所示，在光滑绝缘水平面上，有一铝质金属球以一定的初速度通过有界匀强磁场。从球开始进入磁场到完全穿出磁场的过程中（磁场宽度大于金属球的直径），小球（　　）



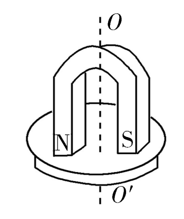
A. 整个过程做匀速运动

B. 进入磁场过程中做减速运动，穿出磁场过程中做加速运动

C. 整个过程都做匀减速运动

D. 穿出时的速度一定小于初速度

6. 如图所示，在一蹄形磁铁下面放一个铜盘，铜盘和磁铁均可以绕 OO' 轴自由转动，两磁极靠近铜盘，但不接触。当磁铁绕轴转动时，铜盘将（　　）



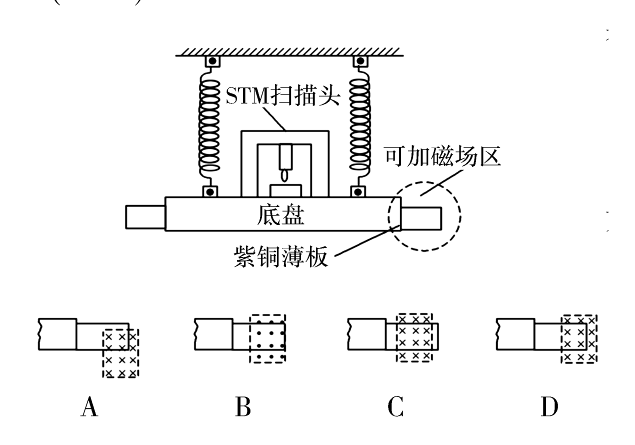
A. 以相同的转速与磁铁同向转动

B. 以较小的转速与磁铁同向转动

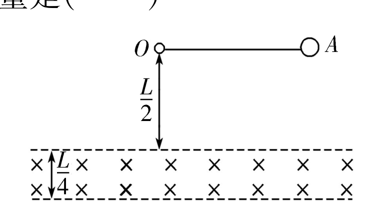
C. 以相同的转速与磁铁反向转动

D. 静止不动

7. 扫描隧道显微镜（STM）可用来探测样品表面原子尺度上的形貌。为了有效隔离外界振动对 STM 的扰动，在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板，并施加磁场来快速衰减其微小振动，如图所示。无扰动时，按下列四种方案对紫铜薄板施加恒定磁场。出现扰动后，对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是（　　）



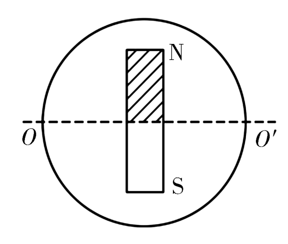
8. 一个半径为 r、质量为 m、电阻为 R 的金属圆环，用一根长为 L 的绝缘细绳悬挂于 O 点，离 O 点下方 $\frac{L}{2}$ 处有一宽度为 $\frac{L}{4}$，垂直纸面向里的匀强磁场区域，如图所示。现使圆环从与悬点 O 等高位置 A 处由静止释放（细绳张直，忽略空气阻力），摆动过程中金属圆环所在平面始终垂直磁场，则在达到稳定摆动的整个过程中，金属圆环产生的热量是（　　）



A. mgL　　B. $mg\left(\frac{L}{2}+r\right)$

C. $mg\left(\frac{3}{4}L+r\right)$　　D. $mg(L+2r)$

9. 如图所示，闭合导线圆环和条形磁铁都可以绕水平的中心轴 OO' 自由转动，开始时磁铁和圆环都静止在竖直平面内，若条形磁铁突然绕 OO' 轴，N 极向纸里，S 极向纸外转动，在此过程中，圆环将（　　）



A. 产生逆时针方向的感应电流，圆环上端向里、下端向外随磁铁转动

B. 产生顺时针方向的感应电流，圆环上端向外、下端向里随磁铁转动

C. 产生逆时针方向的感应电流，圆环并不转动

D. 产生顺时针方向的感应电流，圆环并不转动

10. (多选)我国研发的高速磁浮实验样车在 2019 年 5 月 23 日正式下线，在全速运行的情况下，该样车的时速达到 600 km/h。超导体的抗磁作用使样车向上浮起，电磁驱动原理如图所示。在水平面上相距 l 的两根平行导轨间，有垂直水平面等距离分布的方向不同的匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，每个磁场的宽度都是 l，相间排列。固定在样车下方宽为 l、阻值为 R 的导体线框 $abcd$ 悬浮在导轨上方，样车运动过程中所受阻力恒为 F_f，当磁场以速度 v_0 向右匀速运动时，下列说法正确的是（　　）

A. 样车速度为零时，受到的电磁驱动力大小为 $\frac{4B^2l^2v_0}{R}$

B. 样车速度为零时，线圈的电热功率为 $\frac{2B^2l^2v_0^2}{R}$

C. 样车匀速运动时，克服阻力做功的功率为 $F_fv_0-\frac{RF_f^2}{4B^2l^2}$

D. 样车匀速运动时，速度大小为 $\frac{RF_f}{4B^2l^2}$

2.11 互感和自感

知识清单

(一)互感

1. 两个相互靠近的线圈,当一个线圈中的电流变化时,它所产生的变化的磁场会在另一个线圈中产生感应电动势,这种现象叫作互感。
2. 应用:变压器

(二)自感

当一个线圈中的电流变化时,它所产生的变化的磁场不仅在邻近的电路中激发出感应电动势,同样也在它本身激发出感应电动势,这种现象称为自感。由于自感而产生的感应电动势叫作自感电动势。

(三)自感电动势

1. $E=L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$,其中 L 是自感系数,简称自感或电感。单位:亨利,符号是 H。
2. 自感系数与线圈的大小、形状、匝数,以及是否有铁芯等因素有关。

(四)自感现象中磁场的能量

线圈中电流从无到有时,磁场从无到有,电源把能量输送给磁场,储存在磁场中;线圈中电流减小时,磁场中的能量释放出来转化为电能。

课堂笔记

典型例题

【例1】判断下列说法的正误。

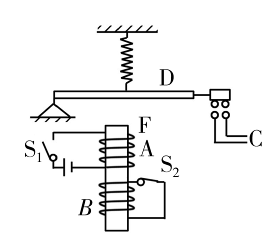
(1)两个线圈相距较近时,可以产生互感现象,相距较远时,不产生互感现象。 ( )

(2)自感现象中,感应电流一定与原电流方向相反。 ( )

(3)线圈的自感系数与电流大小无关,与电流的变化率有关。 ( )

(4)线圈中电流最大的瞬间可能没有自感电动势。 ( )

【例2】(多选)如图所示,是一种延时装置的原理图,当 S_1 闭合时,电磁铁 F 将衔铁 D 吸下,C 线路接通;当 S_1 断开时,由于电磁感应作用,D 将延迟一段时间才被释放。则( )



A. 由于 A 线圈的电磁感应作用,才产生延时释放 D 的作用

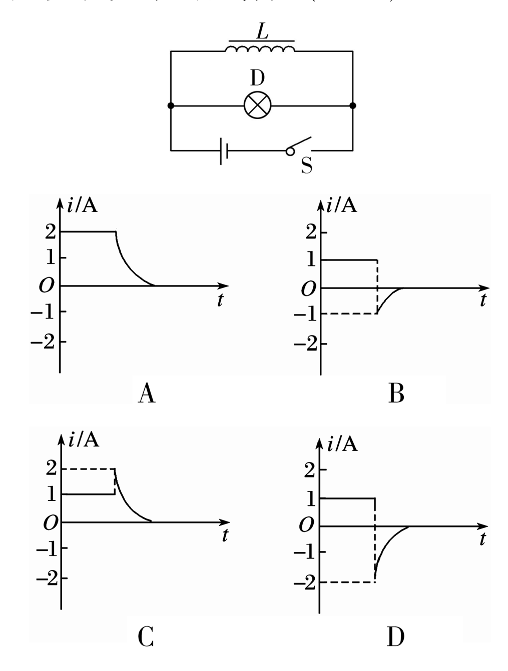
B. 由于 B 线圈的电磁感应作用,才产生延时释放 D 的作用

C. 如果断开 B 线圈的开关 S_2,无延时作用

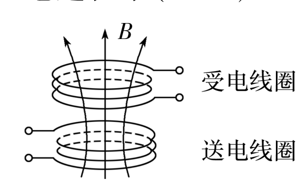
D. 如果断开 B 线圈的开关 S_2,延时将变化

【例3】如图所示的电路中,S 闭合且稳定后流过电感线圈的电流是 2 A,流过灯泡的电流是 1 A,现将 S 突然断开。S 断开前后,可能正确反映流过灯泡的电流 i 随时

间 t 变化关系的图像是(　　)



【例 4】(多选)手机无线充电是比较新颖的充电方式。如图所示,电磁感应式无线充电的原理与变压器类似,通过分别安装在充电基座和接收能量装置上的线圈,利用产生的磁场传递能量。当充电基座上的送电线圈通入正弦式交变电流后,就会在邻近的受电线圈中感应出电流,最终实现为手机电池充电。在充电过程中(　　)

A. 送电线圈中电流产生的磁场呈周期性变化

B. 受电线圈中感应电流产生的磁场恒定不变

C. 送电线圈和受电线圈通过互感现象实现能量传递

D. 手机和基座无需导线连接,这样传递能量没有损失

课后训练

1. (多选)下列的说法正确的是(　　)

A. 两个线圈之间必须有导线相连,才能产生互感现象

B. 互感现象可以把能量从一个线圈传到另一个线圈

C. 互感现象都是有益的

D. 变压器是利用互感现象制成的

2. 关于线圈中自感电动势的大小,下列说法正确的是(　　)

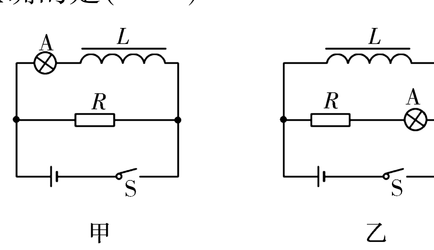
A. 电感一定时,电流变化越大,自感电动势越大

B. 电感一定时,电流变化越快,自感电动势越大

C. 通过线圈的电流为零的瞬间,自感电动势为零

D. 通过线圈的电流为最大值的瞬间,自感电动势最大

3. (多选)在如图所示的甲、乙电路中,电阻 R 和灯泡电阻的阻值相等,自感线圈 L 的电阻值可认为是 0,在接通开关 S 时,下列说法正确的是(　　)



A. 在电路甲中,A 将渐渐变亮

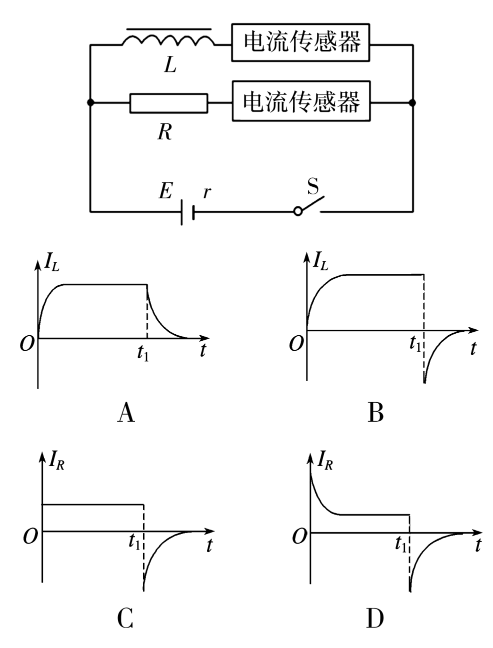
B. 在电路甲中,A 将先变亮,然后渐渐变暗

C. 在电路乙中,A 将渐渐变亮

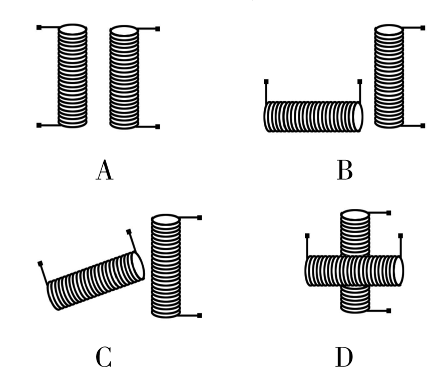
D. 在电路乙中,A 将先由亮渐渐变暗,然后熄灭

4. (多选)如图所示,用电流传感器研究自感现象。电源内阻不可忽略,线圈的自感系数较大,其直流电阻小于电阻 R 的阻值。$t=0$ 时刻闭合开关 S,电路稳定后,t_1 时刻断开 S,电流传感器连接计算机分别描绘了整个过程线圈中的电流 I_L 和电阻中的电流 I_R 随时间 t 变化的图像。下列图像中可

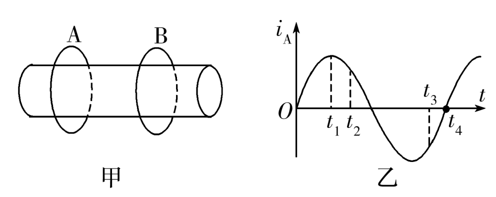
能正确的是(　　)



5. 在无线电仪器中,常需要在距离较近处安装两个线圈,并要求当一个线圈中电流有变化时,对另一个线圈中电流的影响尽量小。如图所示两个线圈的相对安装位置最符合该要求的是(　　)



6. 如图甲所示,A、B 两绝缘金属环套在同一铁芯上,A 环中电流 i_A 随时间 t 的变化规律如图乙所示,下列说法正确的是(　　)



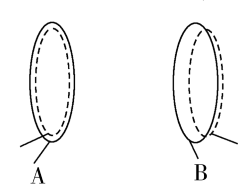
A. t_1 时刻,两环作用力最大

B. t_2 和 t_3 时刻,两环相互吸引

C. t_2 时刻两环相互吸引,t_3 时刻两环相互排斥

D. t_3 和 t_4 时刻,两环相互吸引

7. (多选)目前无线电力传输已经比较成熟,如图所示为一种非接触式电源供应系统。这种系统基于电磁感应原理可无线传输电力,两个感应线圈可以放置在左右相邻或上下相对的位置,原理示意图如图所示。利用这一原理,可以实现对手机进行无线充电。下列说法正确的是(　　)



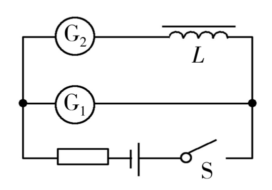
A. 只要 A 线圈中输入电流,B 线圈中就会产生感应电动势

B. 只有 A 线圈中输入变化的电流,B 线圈中才会产生感应电动势

C. A 中电流越大,B 中感应电动势越大

D. A 中电流变化越快,B 中感应电动势越大

8. 在如图所示的电路中,L 为电阻很小的电感线圈,G_1 和 G_2 为零刻度在表盘中央的两相同的电流表。当开关 S 闭合时,电流表 G_1、G_2 的指针都偏向右方,那么当断开开关 S 时,将出现的现象是(　　)



A. G_1 和 G_2 指针都立即回到零点

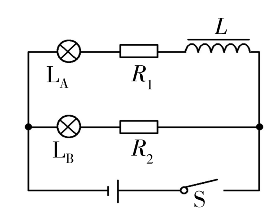
B. G_1 指针立即回到零点,而 G_2 指针缓慢地回到零点

C. G_1 指针缓慢地回到零点,而 G_2 指针先立即偏向左方,然后缓慢地回到零点

D. G_2 指针缓慢地回到零点,而 G_1 指针先立即偏向左方,然后缓慢地回到零点

9. 如图所示,电感线圈 L 的自感系数足够大,其电阻忽略不计,L_A、L_B 是两个相同的小灯泡,且在下列实验中不会被烧毁,电阻 R_2 的

阻值约等于 R_1 阻值的两倍,则(　　)



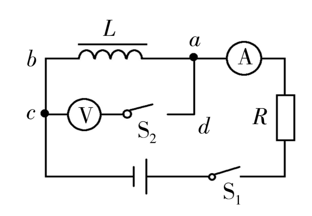
A. 闭合开关 S 时,L_A、L_B 同时达到最亮,且 L_B 更亮一些

B. 闭合开关 S 时,L_A、L_B 均慢慢亮起来,且 L_A 更亮一些

C. 断开开关 S 时,L_A 慢慢熄灭,L_B 马上熄灭

D. 断开开关 S 时,L_A 慢慢熄灭,L_B 闪亮后才慢慢熄灭

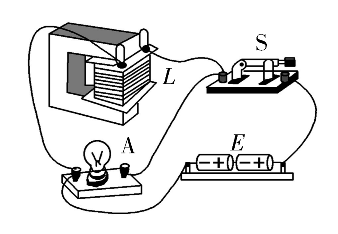
10. 如图所示的电路可用来测定自感系数较大的线圈的直流电阻,线圈两端并联一个电压表,用来测量自感线圈两端的直流电压,在实验完毕后,将电路拆去时应(　　)



A. 先断开开关 S_1　　B. 先断开开关 S_2

C. 先拆去电流表　　D. 先拆去电阻 R

11. 某同学为了验证断电自感现象,自己找来带铁芯的线圈 L、小灯泡 A、开关 S 和电池组 E,用导线将它们连接成如图所示的电路。检查电路后,闭合开关 S,小灯泡发光;再断开开关 S,小灯泡仅有不显著的延时熄灭现象。虽经多次重复,仍未见老师演示时出现的小灯泡闪亮现象,他苦思冥想找不出原因。你认为最有可能造成小灯泡未闪亮的原因是(　　)



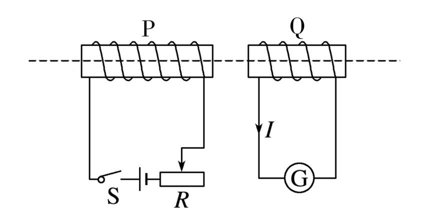
A. 电源的内阻较大

B. 小灯泡电阻偏大

C. 线圈的电阻偏大

D. 线圈的自感系数较大

12. (多选)如图所示,线圈 P、Q 同轴放置,P 与开关 S、电源和滑动变阻器 R 组成回路,Q 与电流计 G 相连,要使 Q 线圈产生图示方向的电流,可采用的方法有(　　)



A. 闭合开关 S 后,把 R 的滑片右移

B. 闭合开关 S 后,把 R 的滑片左移

C. 闭合开关 S 后,把 Q 靠近 P

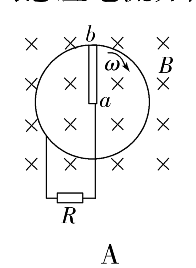
D. 无需闭合开关 S,只要把 Q 靠近 P 即可

第二章　章末检测

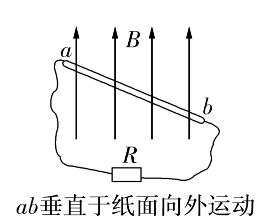
(测试时间:90 分钟)

一、选择题

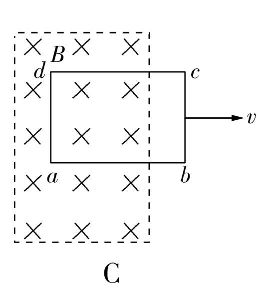
1. 下列各图均表示闭合电路中的部分导体在磁场中做切割磁感线运动,其中导体 ab 上的感应电流方向为 $a \to b$ 的是(　　)



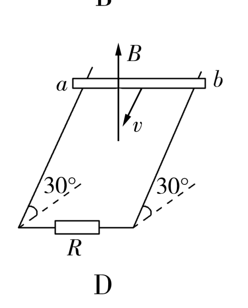
A



B



C



D

2. 如图为两组同心闭合线圈的俯视图,若内线圈的电流 I_1 为图中所示的方向,则当 I_1 增大时外线圈中的感应电流 I_2 的方向及 I_2 受到的安培力 F 的方向为(　　)

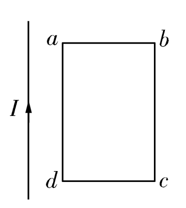
A. I_2 为顺时针方向,F 沿半径指向圆心

B. I_2 为顺时针方向,F 沿半径背离圆心向外

C. I_2 为逆时针方向,F 沿半径指向圆心

D. I_2 为逆时针方向,F 沿半径背离圆心向外

3. (多选)如图所示,通电导线旁边同一平面有矩形线圈 $abcd$。下列说法正确的是(　　)



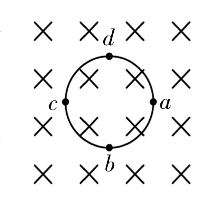
A. 若线圈向右平动,其中感应电流方向是 $a \to b \to c \to d \to a$

B. 若线圈竖直向下平动,无感应电流产生

C. 当线圈以 ab 边为轴转动 90°过程中,其中感应电流方向是 $a \to b \to c \to d \to a$

D. 当线圈向导线靠近时,其中感应电流方向是 $a \to b \to c \to d \to a$

4. 如图所示,匀强磁场垂直于圆形线圈指向纸里,a、b、c、d 为圆形线圈上等距离的四点,现用外力作用在上述四点,将线圈拉成正方形。设线圈导线不可伸长,且线圈仍处于原先所在的平面内,则在线圈发生形变的过程中(　　)



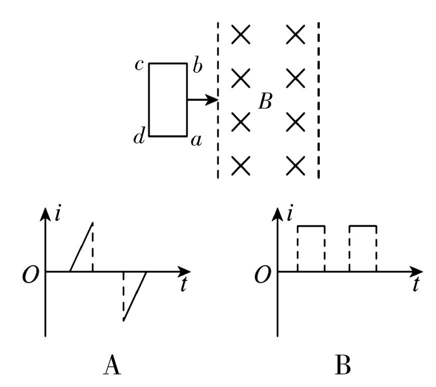
A. 线圈中将产生沿 $abcda$ 方向的感应电流

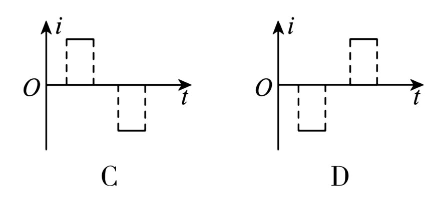
B. 线圈中将产生沿 $adcba$ 方向的感应电流

C. 线圈中产生感应电流的方向先是 $abcda$,后是 $adcba$

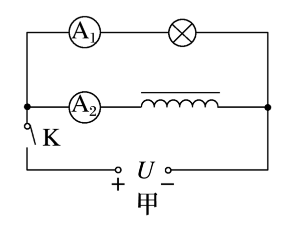
D. 线圈中无感应电流产生

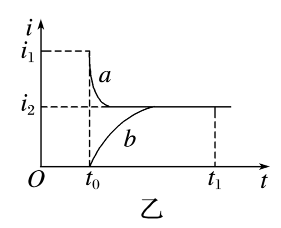
5. 如图所示,一个由导轨制成的矩形线框,以恒定速度运动,从无场区穿过匀强磁场区。若取逆时针方向为电流的正方向,那么在下列图像中,能正确反映出回路中感应电流随时间变化的是(　　)





6. 某同学想对比自感线圈和小灯泡对电路的影响,他设计了如图甲所示的电路,电路两端电压 U 恒定,A_1、A_2 为完全相同的电流传感器。先闭合开关 K 得到如图乙所示的 $i-t$ 图像,等电路稳定后,断开开关(断开开关的实验数据未画出)。下列关于该实验的说法正确的是(　　)





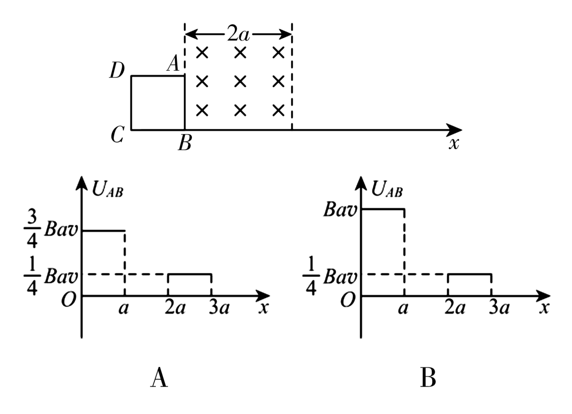
A. 闭合开关时,自感线圈中电流为零,其自感电动势也为零

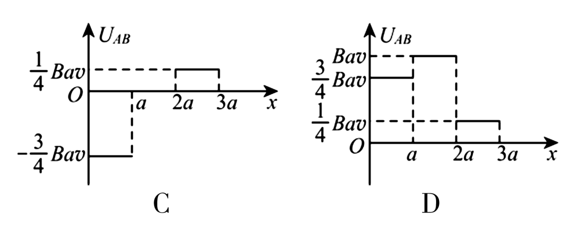
B. 图乙中的 a 曲线表示电流传感器 A_2 测得的数据

C. 断开开关时,小灯泡会明显闪亮后逐渐熄灭

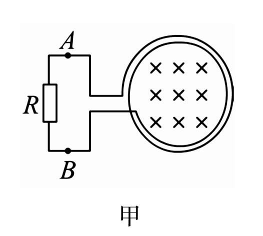
D. t_1 时刻小灯泡与线圈的电阻相等

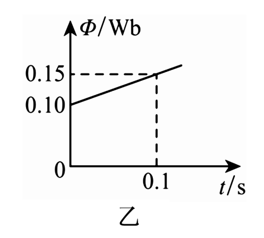
7. 如图所示,垂直纸面向里的匀强磁场的区域宽度为 $2a$,磁感应强度的大小为 B。一边长为 a,电阻为 $4R$ 的正方形均匀导线框 $ABCD$ 从图示位置沿水平向右方向以速度 v 匀速穿过磁场区域。在下列选项中线框 A、B 两端电压 U_{AB} 与线框移动距离 x 的关系图像正确的是(　　)





8. (多选)如图甲所示,电阻为 5 Ω、匝数为 100 匝的线圈(图中只画了 2 匝)两端 A、B 两点与电阻 R 相连,$R=95\ \Omega$。线圈内有方向垂直于纸面向里的磁场,线圈中的磁通量在按图乙所示规律变化,则(　　)





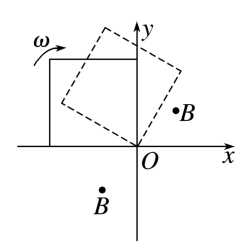
A. A 点的电势低于 B 点的电势

B. 在线圈位置上感应电场沿逆时针方向

C. 0.1 s 时间内通过电阻 R 的电荷量为 0.05 C

D. 回路中电流为 0.5 A

9. (多选)如图所示,xOy 平面的第一、三象限内以坐标原点 O 为圆心、半径为$\sqrt{2}L$ 的扇形区域充满方向垂直纸面向外的匀强磁场。边长为 L 的正方形金属框绕其始终在 O 点的顶点、在 xOy 平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动,$t=0$ 时刻,金属框开始进入第一象限。不考虑自感影响,关于金属框中感应电动势 E 随时间 t 变化规律的描述正确的是(　　)



A. 在 $t=0$ 到 $t=\dfrac{\pi}{2\omega}$的过程中,E 一直增大

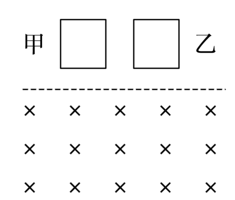
B. 在 $t=0$ 到 $t=\dfrac{\pi}{2\omega}$的过程中,E 先增大后

减小

C. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中,E 的变化率一直增大

D. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中,E 的变化率一直减小

10. (多选)由相同材料的导线绕成边长相同的甲、乙两个正方形闭合线圈,两线圈的质量相等,但所用导线的横截面积不同,甲线圈的匝数是乙的2倍。现两线圈在竖直平面内从同一高度同时由静止开始下落,一段时间后进入一方向垂直于纸面的匀强磁场区域,磁场的上边界水平,如图所示。不计空气阻力,已知下落过程中线圈始终平行于纸面,上、下边保持水平。在线圈下边进入磁场后且上边进入磁场前,可能出现的是(　　)



A. 甲和乙都加速运动

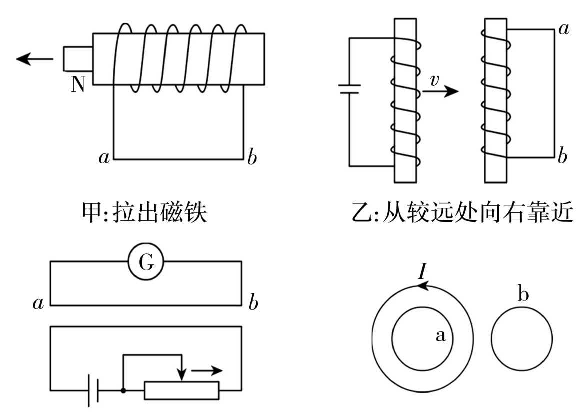
B. 甲和乙都减速运动

C. 甲加速运动,乙减速运动

D. 甲减速运动,乙加速运动

二、画图题

11. 画出下图中 ab 导线(或 a、b 环)中感应电流的方向。



甲:拉出磁铁　　乙:从较远处向右靠近

丙:触头向右移动　　丁:电流I减小时

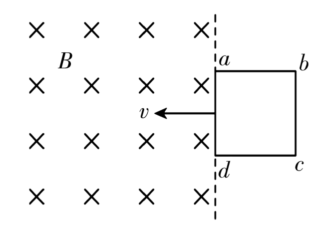
三、解答题

12. 如图所示,垂直于纸面的匀强磁场磁感应强度为 B。纸面内有一正方形均匀金属线框 $abcd$,其边长为 L,总电阻为 R,ad 边与磁场边界平行。从 ad 边刚进入磁场直至 bc 边刚要进入的过程中,线框在向左的拉力作用下以速度 v 匀速运动,求:

(1)感应电动势的大小 E;

(2)拉力做功的功率 P;

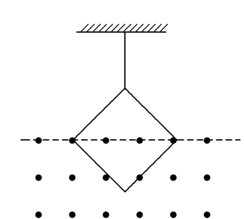
(3)ab 边产生的焦耳热 Q。



13. 如图，一不可伸长的细绳的上端固定，下端系在边长为 $l=0.40\ \text{m}$ 的正方形金属框的一个顶点上。金属框的一条对角线水平，其下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知构成金属框的导线单位长度的阻值为 $\lambda=5.0\times10^{-3}\ \Omega/\text{m}$；在 $t=0$ 到 $t=3.0\ \text{s}$ 时间内，磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 $B(t)=0.3-0.1t(\text{T})$。求：

(1) $t=2.0\ \text{s}$ 时金属框所受安培力的大小；

(2) 在 $t=0$ 到 $t=2.0\ \text{s}$ 时间内金属框产生的焦耳热。

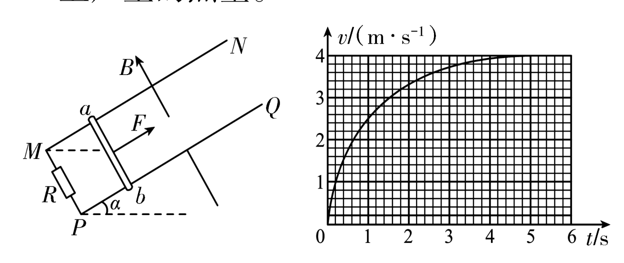


14. 光滑平行的金属导轨 MN 和 PQ，间距 $L=1.0\ \text{m}$，与水平面之间的夹角 $=30°$，匀强磁场磁感应强度 $B=2.0\ \text{T}$，方向垂直于导轨平面向上，M、P 间接有阻值 $R=2.0\ \Omega$的电阻，其他电阻不计，质量 $m=2.0\ \text{kg}$的金属杆 ab 垂直导轨放置，如图甲所示。用恒力 F 沿导轨平面向上拉金属杆 ab，由静止开始加速运动，经过一段时间后做匀速运动，速度为 $4.0\ \text{m/s}$。$v-t$ 图像如图乙所示，g 取 $10\ \text{m/s}^2$，导轨足够长。求：

(1) 恒力 F 的大小；

(2) 金属杆速度为 $2.0\ \text{m/s}$ 时的加速度大小；

(3) 根据 $v-t$ 图像估算在前 $0.8\ \text{s}$ 内电阻上产生的热量。



第三章　交变电流

3.1　交变电流

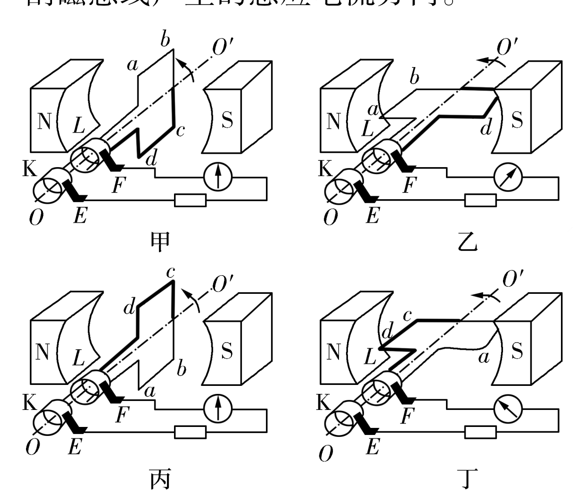
知识清单

（一）交变电流

1. 交变电流：大小和方向随时间做周期性规律变化的电流叫作交变电流，简称交流。
2. 直流：电流的方向不随时间变化的电流称为直流。

（二）交变电流的产生

交流发电机的线圈在磁场中转动时，转轴与磁场方向垂直，用右手定则判断线圈切割磁感线产生的感应电流方向。



（三）交变电流的变化规律

1. 中性面

（1）中性面：与磁感线垂直的平面。

（2）当线圈平面位于中性面时，线圈中的磁通量最大，但线圈中的电流为零。

2. 从中性面开始计时，线圈中产生的电动势的瞬时值表达式：$e=E_m\sin\omega t$。E_m叫作电动势的峰值，$E_m=N\omega BS$。
3. 正弦式交变电流：按正弦规律变化的交变电流叫作正弦式交变电流，简称正弦式电流。
4. 正弦式交变电流和电压

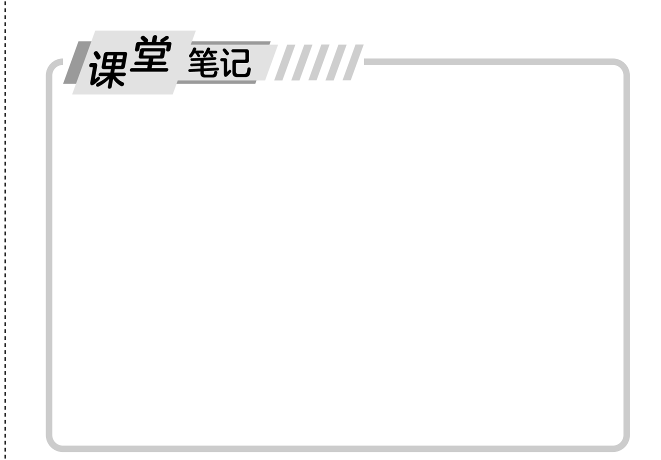
电流表达式：$i=I_m\sin\omega t$。电压表达式：$u=U_m\sin\omega t$。其中I_m、U_m分别是电流和电压的最大值，也叫峰值。

（四）交流发电机

1. 主要构造：电枢和磁体。
2. 分类

（1）旋转电枢式发电机：电枢转动，磁极不动。

（2）旋转磁极式发电机：磁极转动，电枢不动。



典型例题

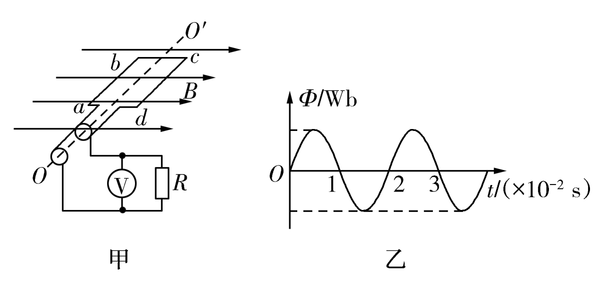
【例 1】长 a 宽 b 的矩形线圈，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕垂直于磁场的 OO' 轴

以恒定的角速度 ω 旋转。设 $t=0$ 时，线圈平面与磁场方向平行，则此时的磁通量和磁通量的变化率分别是(　　)

A. 0，0　　B. 0，$Bab\omega$

C. Bab，$\frac{Bab\omega}{\sqrt{2}}$　　D. Bab，$Bab\omega$

【例2】图甲为小型旋转电枢式交流发电机的原理图，其矩形线圈在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，绕垂直于磁场方向的固定轴 OO'(OO'沿水平方向)匀速转动。线圈的两端经集流环和电刷与电阻 $R=10\ \Omega$ 连接，与电阻 R 并联的交流电压表为理想电压表，示数是 10 V。图乙是矩形线圈中磁通量随时间 t 变化的图像。线圈内阻不计，则(　　)



甲　　　　乙

A. 此交流发电机的电动势平均值为 $10\sqrt{2}$ V

B. $t=0.02$ s 时 R 两端的电压瞬时值为零

C. R 两端的电压 u 随时间 t 变化的规律是 $u=10\sqrt{2}\cos 100\pi t$(V)

D. 当 ab 边速度方向向上时，它所受安培力的方向也向上

【例3】一台旋转电枢式交流发电机，在正常工作时的正弦电动势 $e=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)。由于超负荷使电枢转速降低了$\frac{1}{10}$，这时的电动势是(　　)

A. $e=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)

B. $e=220\sqrt{2}\sin 90\pi t$(V)

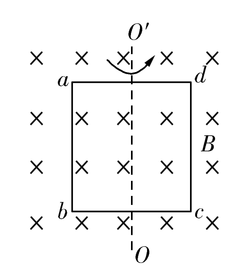
C. $e=198\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V)

D. $e=198\sqrt{2}\sin 90\pi t$(V)

【例4】如图所示的矩形线圈，$ab=40$ cm，$ad=20$ cm，共 50 匝，在 $B=0.6$ T 的匀强磁场中以 300 r/min 的速度绕中心轴 OO' 匀速转动，当 $t=0$ 时线圈平面与磁场垂直。

(1)写出感应电动势瞬时值的表达式；

(2)求出当 $t=0.025$ s 时感应电动势的瞬时值。

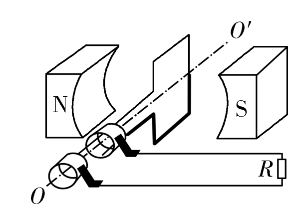


【例5】如图所示，一小型发电机内有 $n=100$ 匝的矩形线圈，线圈面积 $S=0.10\ m^2$，线圈电阻可忽略不计。在外力作用下矩形线圈在 $B=0.10$ T 的匀强磁场中，以恒定的角速度 $\omega=100\pi$ rad/s 绕垂直于磁场方向的固定轴 OO' 匀速转动，发电机线圈两端与 $R=100\ \Omega$ 的电阻构成闭合回路。求：

(1)线圈转动时产生感应电动势的最大值；

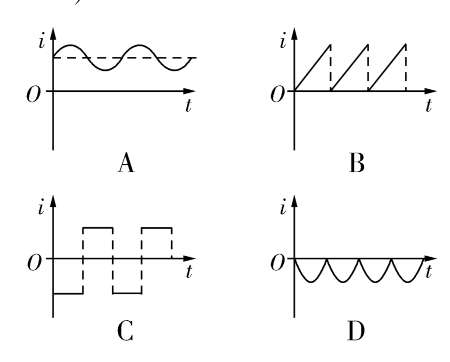
(2)从线圈平面通过中性面时开始计时，线圈中感应电动势的瞬时值表达式；

(3)从线圈平面通过中性面时开始，线圈转过 90°角的过程中通过电阻 R 横截面的电荷量。

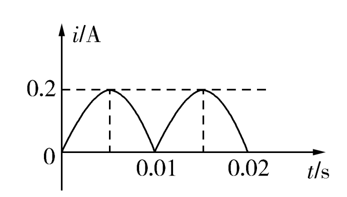


课后训练

1. 如图所示,下列属于交流电的 $i-t$ 图像的是(　　)



2. (多选)对于如图所示的电流 i 随时间 t 做周期性变化的图像,下列说法正确的是(　　)



A. 电流大小变化,方向不变,是直流电

B. 电流大小、方向都变化,是交流电

C. 电流最大值为 0.2 A

D. 电流做周期性变化,是交流电

3. (多选)关于中性面,下列说法正确的是(　　)

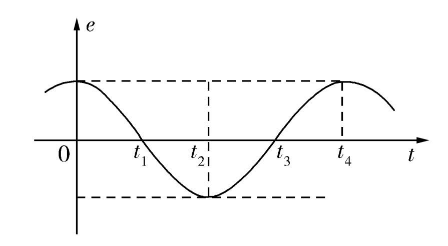
A. 线圈在转动中经中性面位置时,穿过线圈的磁通量最大,磁通量的变化率为零

B. 线圈在转动中经中性面位置时,穿过线圈的磁通量为零,磁通量的变化率最大

C. 线圈每经过一次中性面,感应电流的方向就改变一次

D. 线圈每转动一周经过中性面一次,所以线圈每转动一周,感应电流的方向就改变一次

4. 一矩形线圈,绕垂直于匀强磁场并位于线圈平面内的固定轴转动,线圈中的感应电动势 e 随时间 t 的变化如图所示。下列说法正确的是(　　)



A. t_1 时刻通过线圈的磁通量为零

B. t_2 时刻通过线圈的磁通量的绝对值最大

C. t_3 时刻通过线圈的磁通量变化率的绝对值最大

D. 每当 e 变换方向时,通过线圈的磁通量的绝对值都最大

5. 交流发电机在工作时的电动势为 $e=E_m\sin\omega t$。若将其线框的转速提高到原来的两倍,其他条件不变,则其电动势变为(　　)

A. $E_m\sin(\omega t/2)$　　B. $2E_m\sin(\omega t/2)$

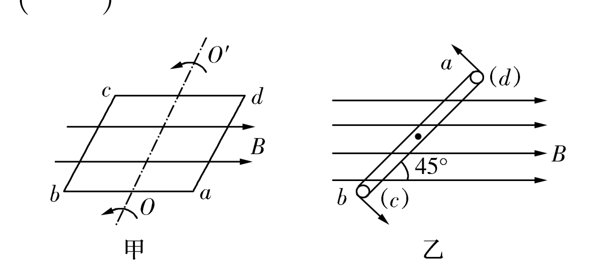
C. $E_m\sin(2\omega t)$　　D. $2E_m\sin(2\omega t)$

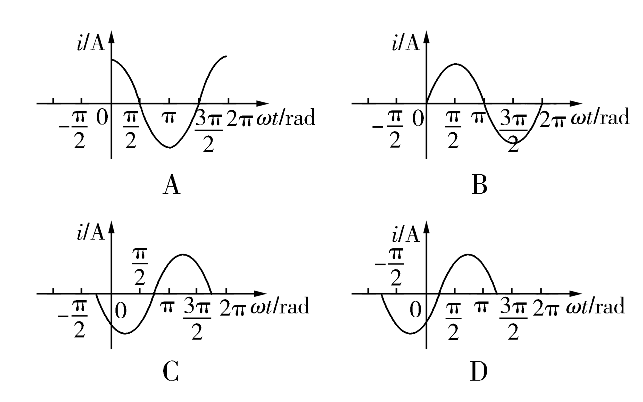
6. 线圈在匀强磁场中匀速转动产生的交变电流的表达式为 $i=0.2\sin 100\pi t$,则从 $t=0$ 到第一次出现瞬时电流最大值的时间为(　　)

A. $\frac{1}{50}$ s　　B. $\frac{1}{100}$ s

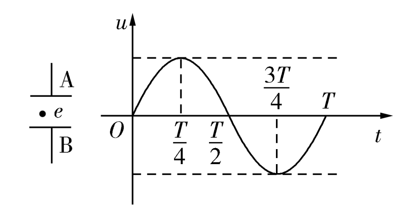
C. $\frac{1}{200}$ s　　D. $\frac{1}{400}$ s

7. 如图甲所示,一矩形线圈 $abcd$ 放置在匀强磁场中,并绕过 ab、cd 中点的轴 OO' 以角速度 ω 逆时针匀速转动。若以线圈平面与磁场夹角 $\theta=45°$时,如图乙所示,为计时起点,并规定当电流自 a 流向 b 时电流方向为正,则如图所示的四幅图中正确的是(　　)





8.（多选）距离足够大的金属板 A、B 间有一电子（不计重力影响）。在 A、B 间接有如图所示的正弦式电压 U，$t=0$ 时电子从静止开始运动，则（　　）



A. 电子做往返运动

B. 在足够长的时间后，电子一定要碰到某个金属板上

C. $t=\frac{T}{2}$时，电子速度达到最大值

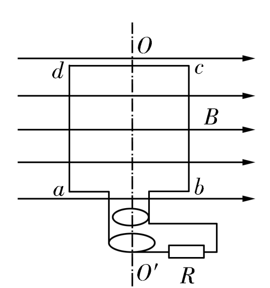
D. $t=T$ 时，电子将回到原出发点

9. 如图所示为交流发电机示意图，匝数 $n=100$ 匝的矩形线圈，边长分别为 0.1 m 和 0.2 m，内阻为 5 Ω。在磁感应强度 $B=0.5$ T的匀强磁场中绕 OO' 轴以$\frac{25\sqrt{2}}{\pi}$ r/s 的转速匀速转动，转动开始时线圈平面与磁场方向平行，线圈通过电流和外部 20 Ω 的电阻 R 相接，求：

（1）写出线圈内产生的交变电动势瞬时值的表达式；

（2）电阻 R 上所消耗的电功率；

（3）从计时开始，线圈转过$\frac{\pi}{3}$的过程中，通过外电阻 R 的电荷量。



3.2　交变电流的描述

知识清单

（一）周期和频率

1. 周期：交变电流完成一次周期性变化所需的时间，通常用 T 表示，单位是秒（s）。

2. 频率：交变电流完成周期性变化的次数与所用时间之比叫作它的频率。数值等于交变电流在单位时间内完成周期性变化的次数。频率通常用 f 表示，单位是赫兹（Hz）。

3. T、f、ω 三者之间的关系

（1）周期与频率的关系：$f=\frac{1}{T}$或 $T=\frac{1}{f}$。

（2）角速度与频率的关系：$\omega=2\pi f$。

(二)峰值和有效值

1. 峰值

交变电流的最大值。峰值 I_m 或 U_m 用来表示电流的强弱或电压的高低。

2. 有效值

定义:让交变电流与恒定电流分别通过大小相同的电阻,如果在交变电流的一个周期内它们产生的热量相等,则这个恒定电流的数值就叫作这一交变电流的有效值。

3. 正弦式交变电流的有效值与峰值的关系

理论计算表明,正弦式交变电流的有效值 I、U 与峰值 I_m、U_m 之间的关系为 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.707I_m$,$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=0.707U_m$。

(三)正弦式交变电流的公式和图像

1. 正弦式交变电流的公式和图像可以详细描述交变电流的情况。若线圈通过中性面时开始计时,交变电流的图像是正弦曲线。
2. 若已知电压、电流最大值分别是 U_m、I_m,周期为 T,则正弦式交变电流电压、电流表达式分别为 $u=U_m\sin\frac{2\pi}{T}t$,$i=I_m\sin\frac{2\pi}{T}t$。

(四)有效值的计算

1. 有效值的计算方法

(1)若是正弦式交变电流,可利用交变电流的有效值与峰值间的关系求解,即 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$,$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$,$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$。

(2)若不是正弦式交变电流,则必须根据电流的热效应来求解其有效值,且时间取一个周期。具体解法:假设让交变电流通过电阻 R,计算交变电流在一个周期内产生的热量 Q(可分段计算),其中热量 Q 用相应的恒定电流 I 或电压 U 来表示(如 $Q=I^2Rt$ 或 $Q=\frac{U^2}{R}t$),则 I 或 U 为交变电流的有效值。

2. 特别提醒

(1)$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$、$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 只适用于正弦式交变电流,对于按其他规律变化的交变电流,上述关系式一般不再适用。

(2)对于非正弦式交变电流有效值的计算,时间一般选取一个周期。

(3)凡涉及能量、电功以及电功率等物理量时均用有效值,在确定保险丝的熔断电流时也用有效值。

(4)电容器的击穿电压是指最大值。

(五)交变电流“四值”的理解

1. 正弦式交变电流“四值”比较及应用(如下表)

名称	物理含义	重要关系	适用情况
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e=E_m\sin\omega t$ $i=I_m\sin\omega t$	分析交变电流在某一时刻的情况
最大值	最大的瞬时值	$E_m=NBS\omega$ $I_m=\frac{E_m}{R+r}$	确定用电器的耐压值

续表

名称	物理含义	重要关系	适用情况
有效值	跟交变电流的热效应等效的恒定电动势、电压或电流值	$E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$ $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$	(1)计算与电流热效应相关的量(如功率、热量) (2)交流电表的测量值 (3)电气设备标注的额定电压、额定电流 (4)保险丝的熔断电流
平均值	交变电流图像中图线与时间轴所夹“面积”与时间的比值	$\overline{E}=n\frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$ $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R+r}$	计算通过电路横截面的电荷量 $q=\overline{I}\Delta t=\frac{\overline{E}}{R+r}\cdot\Delta t=n\frac{\Delta\varphi}{R+r}$

2. 易错提醒

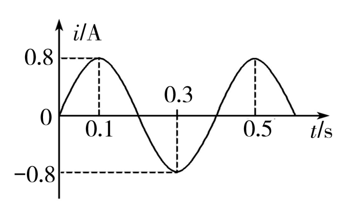
(1)不能混淆四值的物理意义,解决不同的问题要选用不同的物理量。

(2)不能认为有效值就是平均值,有效值和平均值的物理意义、计算方法、应用对象都不同。

课堂笔记

典型例题

【例1】一手摇交流发电机线圈在匀强磁场中匀速转动。转轴位于线圈平面内并与磁场方向垂直,产生的交变电流 i 随时间 t 的变化关系如图所示,则(　　)



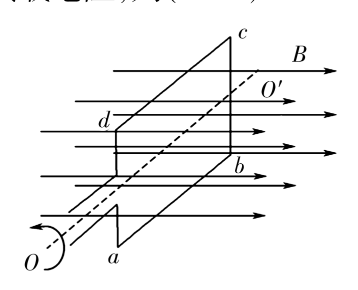
A. 该交变电流的频率是0.4 Hz

B. 该交变电流的最大值是0.8 A

C. $t=0.1$ s时,穿过线圈平面的磁通量最大

D. 该交变电流的瞬时值表达式是 $i=0.8\sqrt{2}\sin 5\pi t$(A)

【例2】小型手摇发电机线圈共有 N 匝,每匝可简化为矩形线圈 $abcd$,磁极间的磁场视为匀强磁场,磁感应强度大小为 B,方向垂直于线圈中心轴 OO',线圈绕 OO' 匀速转动,如图所示。矩形线圈 ab 边和 cd 边产生的感应电动势的最大值都为 E_0,该发电机外接负载电阻,则(　　)



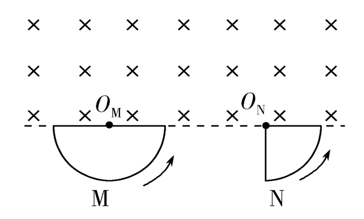
A. 当线圈处于中性面位置时磁通量的变化率最大

B. 线圈从中性面位置转过180°的过程中,线圈中磁通量的变化量为零

C. 线圈转动过程中电动势的有效值为 $\frac{\sqrt{2}}{2}NE_0$

D. 线圈转动过程中电动势的最大值为 $2NE_0$

【例 3】(多选)如图所示,M 为半圆形导线框,圆心为 O_M。N 是圆心角为直角的扇形导线框,圆心为 O_N。两导线框在同一竖直面(纸面)内。两圆弧半径相等;过直线 O_MO_N 的水平面上方有一匀强磁场,磁场方向垂直于纸面。现使线框 M、N 在 $t=0$ 时从图示位置开始,分别绕垂直于纸面且过线框 M 和线框 N 的轴,以相同的周期 T 逆时针匀速转动,则(　　)



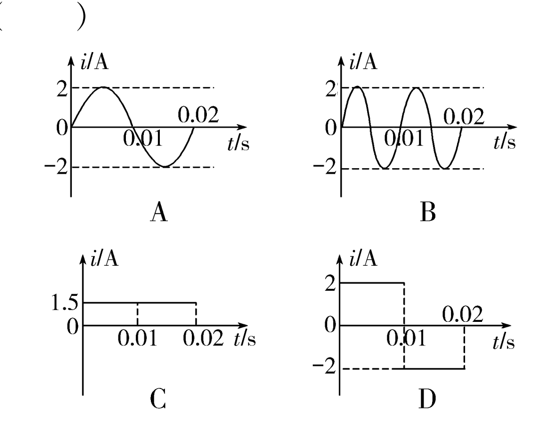
A. 两导线框中均会产生正弦交流电

B. 两导线框中感应电流的周期都等于 T

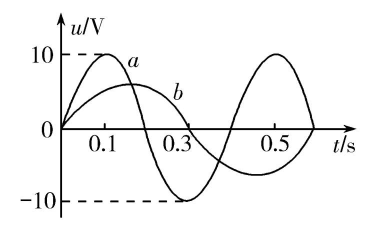
C. 在 $t=\frac{T}{8}$ 时,两导线框中产生的感应电动势相等

D. 两导线框的电阻相等时,两导线框中感应电流的有效值也相等

【例 4】一只电阻分别通过四种不同形式的电流,电流随时间变化的情况如下列各选项所示(A、B 选项中电流按正弦规律变化),在相同时间内电阻产生热量最大的是(　　)



【例 5】如图所示,图线 a 是线圈在匀强磁场中匀速转动时所产生的正弦交流电的 $u-t$ 图像,当调整线圈转速后,所产生的正弦交流电的图像如图线 b 所示。下列关于这两个正弦交流电的说法正确的是(　　)



A. 在图中 $t=0$ 时刻穿过线圈的磁通量均为零

B. 线圈先后两次周期之比为 3∶2

C. 交流电 b 的电压最大值为 $\frac{20}{3}$ V

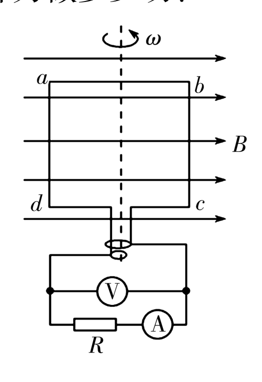
D. 交流电 a 的电压瞬时值表达式为 $u=10\sin 0.4t$(V)

【例 6】如图所示是一个交流发电机的原理图,矩形线圈 $abcd$ 处于匀强磁场中,已知 $ab=bc=10$ cm,匀强磁场的磁感应强度 $B=1$ T,线圈的匝数 $N=100$ 匝,线圈的总电阻 $r=5$ Ω,外电路负载电阻 $R=5$ Ω,线圈以 $n=10$ rad/s 的转速绕垂直于磁场的方向且与线圈共面的轴转动,电表是理想电表。求:(结果均保留 3 位有效数字)

(1)电压表的示数;

(2)从图示位置开始经 $\frac{1}{60}$ s 时感应电动势的瞬时值多大?

(3)线圈匀速转动一周外力做多少功?



课后训练

1. 一矩形线圈在匀强磁场中转动,产生的感应电动势 $e=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V),则(　　)

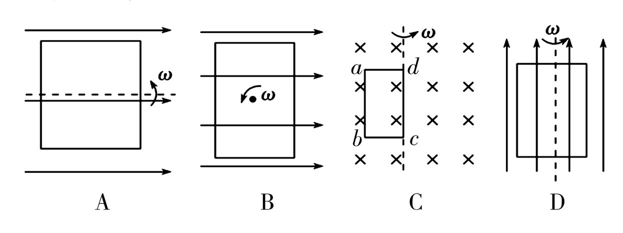
A. 交变电流的频率是 100π Hz

B. $t=0$ 时,线圈位于中性面

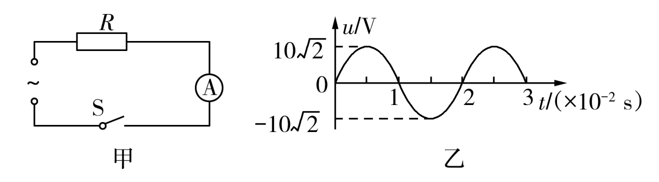
C. 交变电流的周期是 0.2 s

D. $t=0.05$ s 时,e 有最大值

2. 如图所示,线圈按下列方式在匀强磁场中匀速转动,能产生正弦交变电流的是(　　)



3. 一交流电路如图甲所示,电阻 $R=10\ \Omega$。交流电源输出的电压 u 随时间 t 变化的图像如图乙所示,闭合开关 S 后(　　)



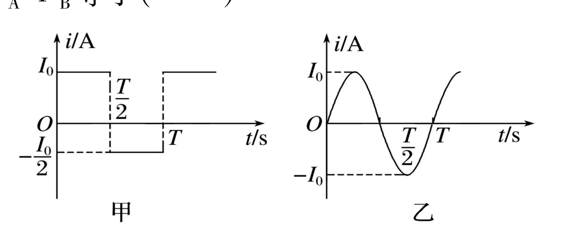
A. 电路中电流的频率为 100 Hz

B. 电阻 R 消耗的电功率为 14 W

C. 电流表的示数为 1.4 A

D. 电路中电流瞬时值的表达式为 $i=\sqrt{2}\sin 100\pi t$(A)

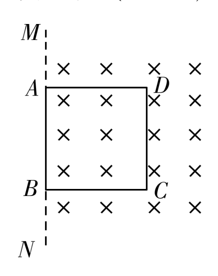
4. A、B 是两个完全相同的电热器,A 通以图甲所示的方波交变电流,B 通以图乙所示的正弦式交变电流,则两电热器的电功率 $P_A:P_B$ 等于(　　)



A. 5∶4　　　　B. 3∶2

C. $\sqrt{2}$∶1　　　　D. 2∶1

5. (多选)如图所示,线圈 $ABCD$ 匝数 $n=10$ 匝,面积 $S=0.4\ \text{m}^2$,边界 MN(与线圈的 AB 边重合)右侧存在磁感应强度 $B=\frac{2}{\pi}$ T 的匀强磁场,若线圈从图示位置开始绕 AB 边以 $\omega=10\pi$ rad/s 的角速度匀速转动。则以下说法正确的是(　　)



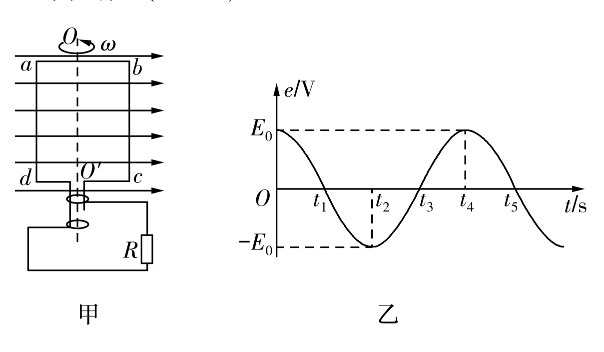
A. 线圈产生的是正弦交流电

B. 线圈在转动过程中产生的最大感应电动势为 80 V

C. 线圈转动 $\frac{1}{60}$ s 时瞬时感应电动势为 $40\sqrt{3}$ V

D. 线圈产生的感应电动势的有效值为 40 V

6. (多选)在一小型交流发电机中,矩形金属线圈 $abcd$ 的面积为 S,匝数为 n,线圈总电阻为 r。在磁感应强度为 B 的匀强磁场中,绕轴 OO'(OO'为 $abcd$ 的中轴线)以角速度 ω 匀速转动如图甲,产生的感应电动势随时间的变化关系如图乙。矩形线圈与阻值为 R 的电阻构成闭合电路,下列说法正确的是(　　)



A. 从 t_1 到 t_3 这段时间内穿过线圈磁通量

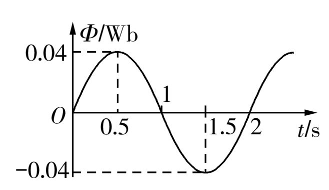
的变化量为零

B. 从 t_3 到 t_4 这段时间通过电阻 R 的电荷量为$\frac{E_0}{(R+r)\omega}$

C. t_4 时刻穿过线圈的磁通量的变化率大小为 E_0

D. t_4 时刻电阻 R 的发热功率为$\frac{RE_0^2}{2(R+r)^2}$

7. (多选)在匀强磁场中,一个 100 匝的闭合矩形金属线圈,绕与磁感线垂直的固定轴匀速转动,穿过该线圈的磁通量随时间按图所示正弦规律变化。设线圈总电阻为 2 Ω,则(　　)



A. $t=0$ 时,线圈平面平行于磁感线

B. $t=1$ s 时,线圈中的电流改变方向

C. $t=1.5$ s 时,线圈中的感应电动势最大

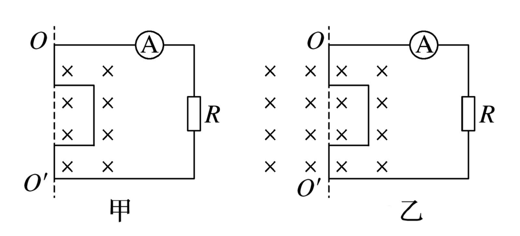
D. 一个周期内,线圈产生的热量为 $8\pi^2$ J

8. 在如图所示的区域内有垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度为 B。电阻为 R、半径为 L、圆心角为 45°的扇形闭合导线框绕垂直于纸面的 O 轴以角速度 ω 匀速转动(O 轴位于磁场边界)。则线框内产生的感应电流的有效值为(　　)

A. $\frac{BL^2\omega}{2R}$　　B. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{2R}$

C. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{4R}$　　D. $\frac{BL^2\omega}{4R}$

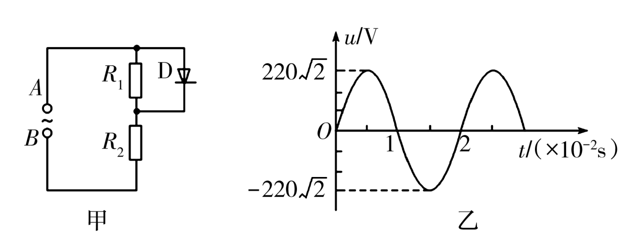
9. 一个 U 形金属线框在匀强磁场中绕 OO'轴以相同的角速度匀速转动,通过导线给同一电阻 R 供电,如图甲、乙所示。图甲中 OO'轴右侧有磁场,图乙中整个空间均有磁场,两磁场磁感应强度相同,则甲、乙两图中交流电流表的示数之比为(　　)



A. $1:\sqrt{2}$　　B. 1:2

C. 1:4　　D. 1:1

10. (多选)在如图甲的电路中,电阻 $R_1=R_2=R$,和 R_1 并联的 D 是理想二极管(正向电阻可视为零,反向电阻为无穷大),在 A、B 之间加一个如图乙的交变电压(电压为正值时,$U_{AB}>0$)。由此可知(　　)



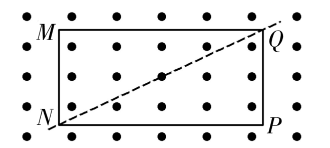
A. 在 A、B 之间所加的交变电压的周期为 2×10^{-2} s

B. 在 A、B 之间所加的交变电压的瞬时值表达式为 $u=220\sqrt{2}\sin 50\pi t$(V)

C. 加在 R_1 上电压的有效值为 $55\sqrt{2}$ V

D. 加在 R_1 上电压的有效值为 $55\sqrt{10}$ V

11. (多选)如图所示,处在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中的矩形线框 $MNPQ$,以恒定的角速度 ω 绕对角线 NQ 转动。已知 MN 长为 l_1,NP 长为 l_2,线框电阻为 R。$t=0$ 时刻线框平面与纸面重合,下列说法正确的是(　　)



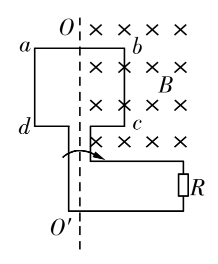
A. 矩形线框产生的感应电动势有效值为 $\frac{\sqrt{2}}{2}Bl_1l_2\omega$

B. 矩形线框转过 π 时的电流强度为零

C. 矩形线框转动一周，通过线框任意横截面的电荷量为$\frac{Bl_1l_2}{R}$

D. 矩形线框转过 π 过程中产生的热量为 $\frac{\pi B^2{l_1}^2{l_2}^2\omega}{2R}$

12.（多选）如图所示，边长为 L 的正方形单匝线圈 $abcd$，电阻为 r，外电路的电阻为 R，ab 的中点和 cd 的中点的连线 OO'恰好位于匀强磁场的边界线上，磁场的磁感应强度为 B。若线圈从图示位置开始，以角速度 ω 绕 OO'轴匀速转动，则下列说法正确的是(　　)



A. 图示位置线圈中的感应电动势最大为 $E_m=BL^2\omega$

B. 线圈转动一周的过程中，电阻 R 上产生的热量为 $Q=\frac{\pi B^2\omega L^4R}{4(R+r)^2}$

C. 线圈从图示位置转过 180°的过程中，流过电阻 R 的电荷量为 $q=\frac{2BL^2}{R+r}$

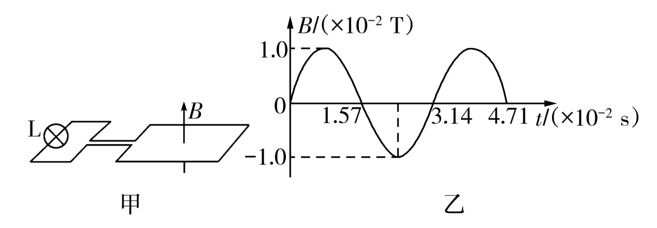
D. 从图示位置开始计时，闭合电路中感应电动势的瞬时值表达式为 $e=\frac{1}{2}BL^2\omega\sin\omega t$

13. 如图甲所示，固定的矩形导体线圈水平放置，线圈的两端接一个小灯泡，在线圈所在空间内存在着与线圈平面垂直均匀分布的磁场。已知线圈的匝数 $n=100$ 匝，总电阻 $r=1.0\ \Omega$，所围成的矩形的面积 $S=0.040\ m^2$，小灯泡的电阻 $R=9.0\ \Omega$，磁感应强度随时间按图乙所示的规律变化。线圈中产生的感应电动势的瞬时值表达式为 $e=nB_mS\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t$，其中 B_m 为磁感应强度的最大值，T 为磁场变化的周期。不计灯丝电阻随温度的变化，求：

(1)线圈中产生的感应电动势的最大值；

(2)小灯泡消耗的电功率；

(3)在 $0\sim\frac{T}{4}$时间内，感应电动势和感应电流的平均值以及通过小灯泡的电荷量。

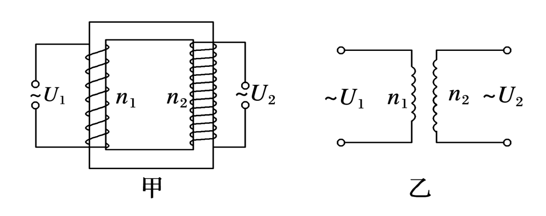


3.3 变压器

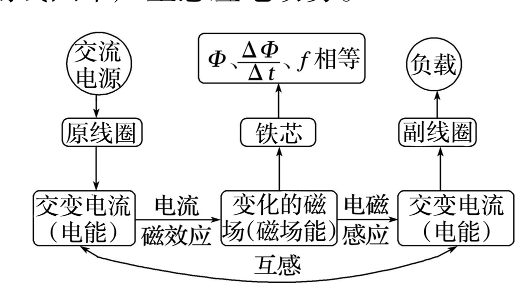
知识清单

(一)变压器的原理

1. 构造:由闭合铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成。与交流电源连接的线圈叫作原线圈;与负载连接的线圈叫作副线圈。



2. 原理:互感现象是变压器工作的基础。原线圈中电流的大小、方向在不断变化,铁芯中激发的磁场也不断变化,变化的磁场在副线圈中产生感应电动势。



注意:(1)变压器不改变交变电流的周期和频率。(2)变压器只对交变电流起作用,对恒定电流不起作用。(3)变压器的两个线圈之间通过磁场联系在一起,两个线圈间是绝缘的。

(二)实验:探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

1. 实验思路

交变电流通过原线圈时在铁芯中产生变化的磁场,副线圈中产生感应电动势,其两端有输出电压。线圈匝数不同时输出电压不同,实验通过改变原、副线圈匝数,探究原、副线圈的电压与匝数的关系。

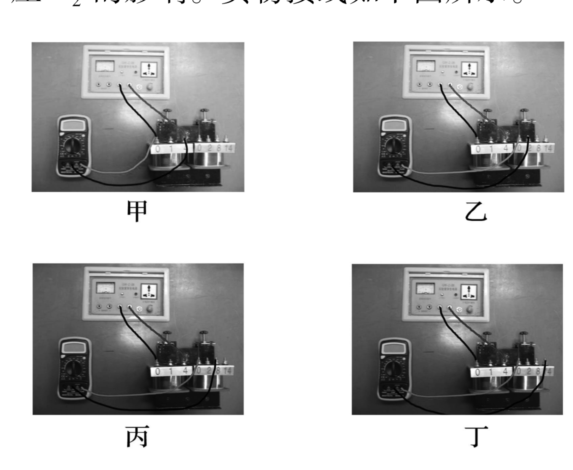
2. 实验器材

多用电表、可拆变压器、学生电源、开关、导线若干(如图所示)。



3. 物理量的测量

(1)保持原线圈的匝数 n_1 和电压 U_1 不变,改变副线圈的匝数 n_2,研究 n_2 对副线圈电压 U_2 的影响。实物接线如下图所示。



表格一 $U_1=5\ \text{V}$,$n_1=400$ 匝

实验次数	1	2	3
n_2/匝			
U_2/V			

①选择 $n_1=400$ 匝,用导线将变压器原线圈接在学生电源的交流输出接线柱上。

②将选择开关调至 5 V 挡,使原线圈两端电压为 5 V,如图甲所示。

③将多用电表与副线圈 $n_2=200$ 匝的接线柱相连接,如图乙所示。读出副线圈两端

的电压 U_2。

④将此次实验的 n_2、U_2 记录在表格一中。

⑤保持 $n_1=400$ 匝，$U_1=5\ V$ 不变。将多用电表与副线圈 $n_2=800$ 匝的接线柱相连接，如图丙所示，重复上述实验，将 n_2、U_2 结果记录到表格一中。

⑥保持 $n_1=400$ 匝，$U_1=5\ V$ 不变。将多用电表与副线圈 $n_2=1400$ 匝的接线柱相连接，如图丁所示，重复上述实验，将 n_2、U_2 结果记录到表格一中。

(2)保持副线圈的匝数 n_2 和原线圈两端的电压 U_1 不变，研究原线圈的匝数 n_1 对副线圈电压 U_2 的影响。

表格二　$U_1=5\ V$，$n_2=400$ 匝

实验次数	1	2	3
n_1/匝			
U_2/V			

①将(1)中的原线圈作为副线圈，副线圈作为原线圈。

②选择 $n_2=400$ 匝，用导线将变压器原线圈 $n_1=200$ 匝接在学生电源的交流输出接线柱上。

③将选择开关拨至 5 V 挡。

④将多用电表与副线圈 $n_2=400$ 匝的接线柱相连接，读出副线圈两端的电压 U_2。

⑤将此次实验的 U_2、n_1 记录在表格二中。

⑥保持 $n_2=400$ 匝，$U_1=5\ V$ 不变。将连接电源的两根导线先后与原线圈 $n_1=800$ 匝和 $n_1=1400$ 匝的接线柱相连接，重复上述实验，将 U_2、n_1 结果记录到表格二中。

⑦拆除实验线路，整理好实验器材。

4. 数据分析与结论

分析表格一和表格二中记录的数据，可得以下结论：

(1)当原线圈电压、原线圈匝数不变时，副线圈电压与副线圈匝数成正比。当原线圈电压、副线圈匝数不变时，副线圈电压与原线圈匝数成反比。

(2)原、副线圈的电压之比$\frac{U_1}{U_2}$等于匝数之比$\frac{n_1}{n_2}$。

（三）电压与匝数的关系

1. 理想变压器：没有能量损耗的变压器叫作理想变压器，它是一个理想化模型。

2. 理想变压器的基本关系

(1)电压关系

①只有一个副线圈时，$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$。

当 $n_2>n_1$ 时，$U_2>U_1$，变压器使电压升高，是升压变压器。

当 $n_2<n_1$ 时，$U_2<U_1$，变压器使电压降低，是降压变压器。

②有多个副线圈时，$\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U_3}{n_3}=\cdots$

(2)功率关系

从能量守恒看，理想变压器的输入功率等于输出功率，即 $P_{入}=P_{出}$。

(3)电流关系

①只有一个副线圈时，$U_1I_1=U_2I_2$ 或$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_1}{n_2}$。

②当有多个副线圈时，$I_1U_1=I_2U_2+I_3U_3+\cdots$或 $n_1I_1=n_2I_2+n_3I_3+\cdots$

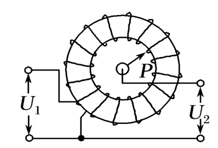
3. 变压器中的能量转化

原线圈中电场的能量转变成磁场的能量，通过铁芯使变化的磁场几乎全部穿过了副线圈，在副线圈中产生了感应电流，磁场的能量转化成了电场的能量。

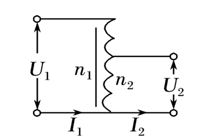
（四）常见的变压器及应用

1. 如图所示，铁芯上只绕一个线圈，低压线圈是高压线圈的一部分，既可以作为升压变

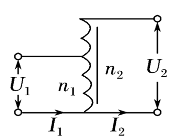
压器使用,也可以作为降压变压器使用。



自耦变压器构造



自耦降压变压器

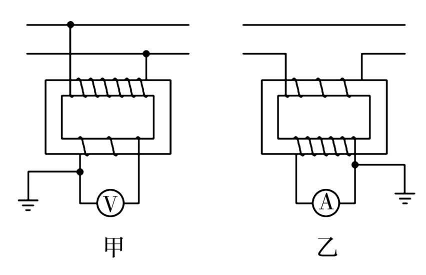


自耦升压变压器

规律:自耦变压器只有一个线圈,每匝线圈产生的电动势 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 相同,故 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 成立。

2. 互感器

①电压互感器:并联在被测电路中,实质是降压变压器,可以把高电压变成低电压,故原线圈匝数 n_1 大于副线圈匝数 n_2。如图甲所示。



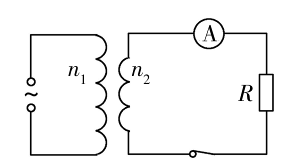
甲　　　　乙

②电流互感器:串联在被测电路中,实质是升压变压器,可以把大电流变成小电流,故原线圈匝数 n_1 小于副线圈匝数 n_2。如图乙所示。

课堂笔记

典型例题

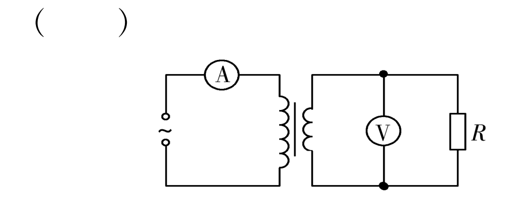
【例1】如图所示电路中,理想变压器原、副线圈的匝数之比 $n_1:n_2=22:5$,原线圈接在 $u_1=220\sqrt{2}\sin 100\pi t(\text{V})$ 的交流电源上,电阻 $R=25\ \Omega$,A 为理想电流表,则 A 的示数为(　　)



A. 12.44 A　　B. 8.80 A

C. 2.00 A　　D. 2.83 A

【例2】教学用发电机能够产生正弦式交变电流。利用该发电机(内阻可忽略)通过理想变压器向定值电阻 R 供电,电路如图所示,理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 的读数分别为 I、U,R 消耗的功率为 P。若发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$,则(　　)



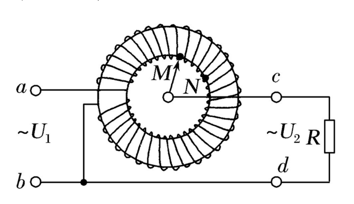
A. R 消耗的功率变为 $\frac{1}{2}P$

B. 电压表 V 的读数变为 $\frac{1}{2}U$

C. 电流表 A 的读数变为 $2I$

D. 通过 R 的交变电流频率不变

【例3】一理想自耦变压器如图所示,环形铁芯上只绕有一个线圈,将其接在 a、b 间作为原线圈。通过滑动触头取该线圈的一部分,接在 c、d 间作为副线圈,在 c、d 间接定值电阻 R。在 a、b 间输入电压为 U_1 的交流电时,c、d 间的输出电压为 U_2。在将滑动触头从 M 点沿顺时针方向旋转到 N 点的过程中(　　)



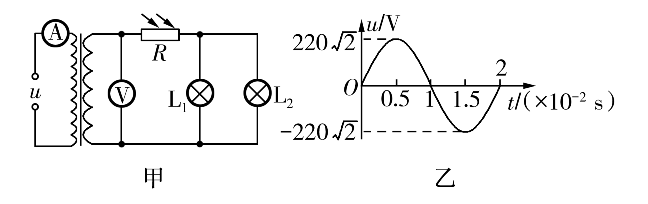
A. $U_2>U_1$,U_2 降低

B. $U_2>U_1$,U_2 升高

C. 变压器的输入功率增大

D. 变压器的输入功率减小

【例 4】(多选)如图甲所示的电路中,理想变压器原、副线圈匝数比为 20∶1,图中电表均为理想电表,R 为光敏电阻(其阻值随光强增大而减小),L_1 和 L_2 是两个完全相同的灯泡。原线圈接入如图乙所示的正弦交流电压 u,下列说法正确的是(　　)



甲　　　　乙

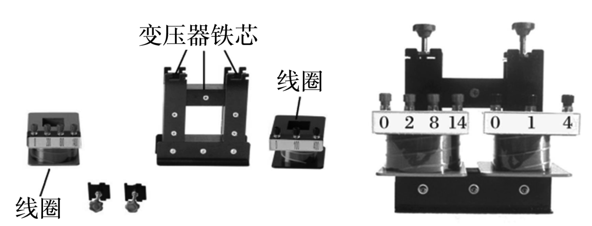
A. 交流电压的频率为 50 Hz

B. 电压表的示数为 11 V

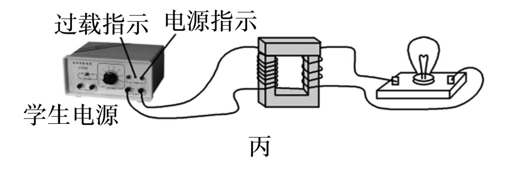
C. 当照射 R 的光强增大时,电流表的示数变大

D. 若 L_1 的灯丝烧断后,电压表的示数会变小

【例 5】某班物理实验课上,同学们用可拆变压器探究变压器的电压与匝数的关系。可拆变压器如图甲、乙所示。



甲　可拆变压器零部件　　　乙　组装后的变压器



丙

(1)(多选)下列说法正确的是(　　)

A. 为确保实验安全,实验中要求原线圈匝数小于副线圈匝数

B. 变压器的原线圈接低压交变电流,测量副线圈电压时应当用多用电表的“直流电压挡”

C. 可以先保持原线圈电压、匝数不变,改变副线圈的匝数,研究副线圈匝数对副线圈电压的影响

D. 测量副线圈电压时,先用最大量程挡试测,大致确定被测电压后再选用适当的挡位进行测量

E. 变压器开始正常工作后,铁芯导电,把电能由原线圈输送到副线圈

F. 变压器开始正常工作后,若不计各种损耗,在原线圈上将电能转化成磁场能,在副线圈上将磁场能转化成电能,铁芯起到“传递”磁场能的作用

(2)(多选)如图丙所示,某同学自己绕制了两个线圈套在可拆变压器的铁芯上。原线圈接学生电源的交流输出端,副线圈接小灯泡。下列说法正确的是(　　)

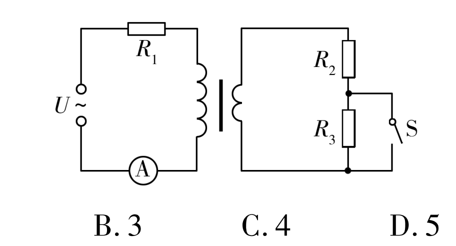
A. 与变压器未通电时相比较,此时若将可拆变压器上端的横条铁芯取下将更费力

B. 若仅增加原线圈绕制的圈数,小灯泡的亮度将保持不变

C. 若仅增加副线圈绕制的圈数,学生电源的过载指示灯可能会亮起

(3)理想变压器是一种理想化模型。请分析说明该模型应忽略哪些次要因素,并证明:理想变压器原、副线圈的电压之比等于两个线圈的匝数之比,即$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$。

【例 6】一含有理想变压器的电路如图所示,图中电阻 R_1、R_2 和 R_3 的阻值分别为 3 Ω、1 Ω 和 4 Ω,A 为理想交流电流表,U 为正弦交流电压源,输出电压的有效值恒定。当开关 S 断开时,电流表的示数为 I;当 S 闭合时,电流表的示数为 $4I$。该变压器原、副线圈匝数比为(　　)



A. 2　　B. 3　　C. 4　　D. 5

课后训练

1. 关于理想变压器,下列说法正确的是(　　)

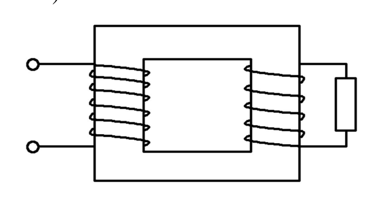
A. 理想变压器可以改变交流电的频率

B. 理想变压器可以改变输送电功率的大小

C. 当理想变压器副线圈空载时,副线圈负载电阻为零

D. 当理想变压器副线圈空载时,副线圈两端电压不为零,输出功率为零

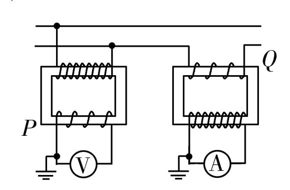
2. 如图所示是一台理想变压器,已知原线圈与副线圈的匝数比是4∶1,当把原线圈加在20 V的直流电源上时,副线圈两端的电压是(　　)



A. 0　　B. 20 V

C. 5 V　　D. 无法确定

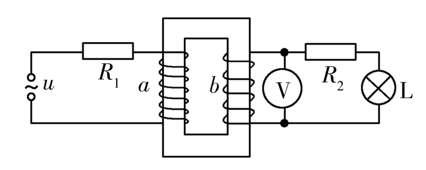
3. 如图所示,P是电压互感器,Q是电流互感器,如果两个互感器的变压比和变流比都是50,电压表的示数为220 V,电流表的示数为3 A,则输电线路中的电压和电流分别是(　　)



A. 11 000 V,150 A　　B. 1 100 V,15 A

C. 4.4 V,16.7 A　　D. 4.4 V,0.06 A

4. (多选)如图所示,理想变压器原线圈a匝数$n_1=200$匝,副线圈b匝数$n_2=100$匝,线圈a接在$u=44\sqrt{2}\sin 314t$ V的交流电源上,“12 V,6 W”的灯泡恰好正常发光,电阻$R_2=16\ \Omega$,电压表V为理想电表。下列说法正确的是(　　)



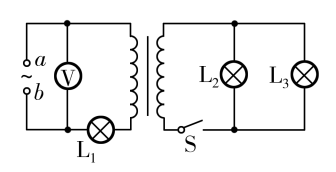
A. 交变电流的频率为100 Hz

B. 穿过铁芯的磁通量的最大变化率为$\frac{\sqrt{2}}{5}$ Wb/s

C. 电压表V的示数为22 V

D. R_1消耗的功率是1 W

5. (多选)含有理想变压器的电路如图,L_1、L_2、L_3均为“24 V,2 W”的灯泡,V为理想交流电压表,a、b端接正弦交流电压源(输出电压的有效值恒定)。当开关S闭合,灯泡均正常发光。下列说法正确的是(　　)



A. 变压器原、副线圈匝数比为1∶2

B. 电压表的示数为72 V

C. 变压器的输入功率为8 W

D. 若在副线圈上再并联一个相同的灯泡,灯泡L_1可能会被烧毁

6. 某同学在实验室进行“探究变压器原、副线圈电压与匝数关系”的实验。

(1)下列实验器材必须要用的有________。(选填字母代号)

A. 干电池组　　B. 学生电源

C. 多用电表　　D. 直流电压表

E. 滑动电阻器　　F. 条形磁体

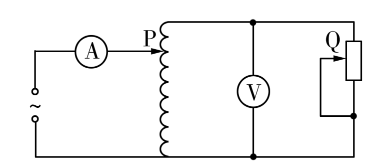
G. 可拆变压器(铁芯、两个已知匝数的线圈)

(2)该同学通过实验得到了如下表所示的

实验数据,表中 n_1、n_2 分别为原、副线圈的匝数,U_1、U_2 分别为原、副线圈的电压,通过实验数据分析可以得到的实验结论:________________________________。

实验次数	n_1/匝	n_2/匝	U_1/V	U_2/V
1	1600	400	12.1	2.90
2	800	400	10.2	4.95
3	400	200	11.9	5.92

7. 如图所示的调压器,滑动触头 P 和 Q 都可以调节,在输入交变电压一定的条件下,要使输出电压增大,输入电流增大,下列做法正确的是(　　)



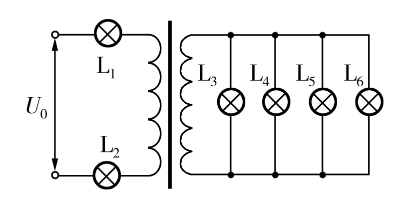
A. Q 不动,P 向下移动

B. Q 不动,P 向上移动

C. P 不动,Q 向上移动

D. P 不动,Q 向下移动

8. 如图所示,一理想变压器,左右两边共接有额定电压均为 U 的 6 盏完全相同的灯泡(额定功率均为 P),左端接在一电压恒为 U_0 的交流电源两端。此时 6 盏灯刚好正常发光。下列说法不正确的是(　　)



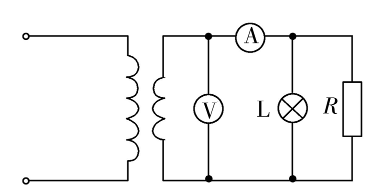
A. 该变压器的原、副线圈匝数比为 1∶2

B. 此时交流电源输出的功率为 $6P$

C. $U_0=6U$

D. 如果灯 L_6 突然烧断,灯 L_1 和 L_2 将变暗,而其余 3 盏灯将变得更亮

9. 如图所示,理想变压器的原线圈接在一个交变电源上,交变电压瞬时值随时间变化的规律为 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$(V),副线圈所在电路中接有电灯 L、电阻 R、理想交流电压表和理想交流电流表。已知理想变压器原、副线圈匝数比为 5∶1,电灯的额定功率为 44 W,电阻 R 的阻值为 22 Ω,电灯以额定功率正常发光,则(　　)



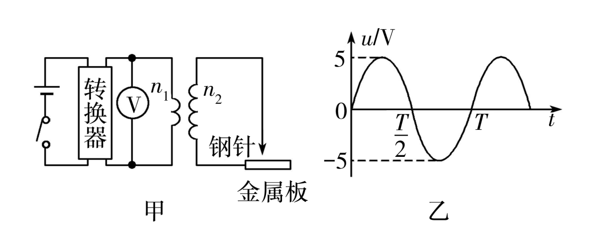
A. 电压表示数为 62.2 V

B. 电流表的示数为 2 A

C. 原线圈中的电流为 15 A

D. 电阻 R 消耗的功率为 88 W

10. 如图所示,图甲是某燃气灶点火装置的原理图。转换器将干电池提供的直流电压转换为图乙所示的正弦交流电压,并加在理想变压器的原线圈上,变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2,电压表为理想交流电表。当变压器副线圈电压的瞬时值大于 5000 V 时,就会在钢针和金属板间引发电火花进而点燃气体,下列说法正确的是(　　)



A. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1}>1000$

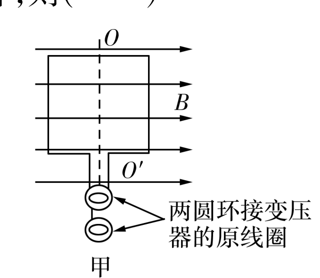
B. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1}<1000$

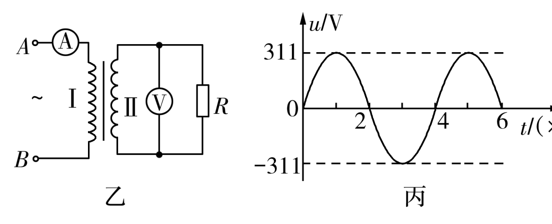
C. 开关闭合后电压表 V 的示数为 5 V

D. 开关闭合后电压表 V 的示数为 2.5 V

11. 如图甲所示为一发电机的原理图,发电机产生的交变电流接图乙中理想变压器的原线圈。已知变压器原、副线圈的匝数之

比为22∶1,发电机输出电压u随时间t变化的规律如图丙所示,发电机线圈电阻忽略不计,则(　　)





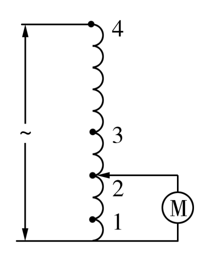
A. 电阻两端电压的瞬时值表达式为$u=10\sin 50\pi t$(V)

B. 电压表示数为10 V

C. 仅使发电机线圈的转速增大一倍,则变压器副线圈输出电压的频率增大一倍,电压表示数不变

D. 若仅使电阻R增加,则电流表示数不变

12. 如图所示为物理实验室某风扇的风速挡位变换器电路图,它是一个可调压的理想变压器,其中接入交流电的电压有效值$U_0=220$ V,$n_0=2200$匝,挡位1、2、3、4对应的线圈匝数分别为220匝、500匝、1100匝、2200匝。电动机M的内阻$r=4\ \Omega$,额定电压为$U=220$ V,额定功率$P=110$ W。下列说法正确的是(　　)



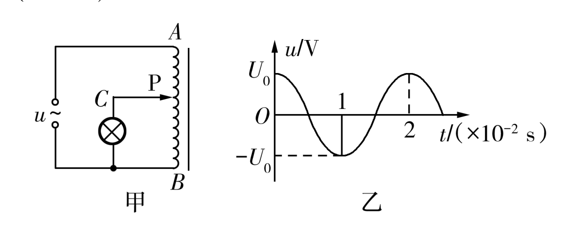
A. 当选择挡位3时,电动机两端电压为110 V

B. 当挡位由3变换到2时,电动机消耗的功率增大

C. 当选择挡位2时,电动机的热功率为1 W

D. 当选择挡位4时,电动机的输出功率为110 W

13. 如图甲所示是一个可调亮度的台灯的内部电路图,理想变压器的原线圈接有如图乙所示的正弦交变电压,副线圈触头P与线圈始终接触良好,下列说法正确的是(　　)



A. 交变电源的电压u随时间t变化的规律是$u=\frac{U_0}{\sqrt{2}}\cos 100\pi t$(V)

B. 若仅将触头P向B端滑动,则灯泡的亮度增大

C. 若使灯泡电阻增大的同时,将触头P向B端滑动,则通过A处的电流一定增大

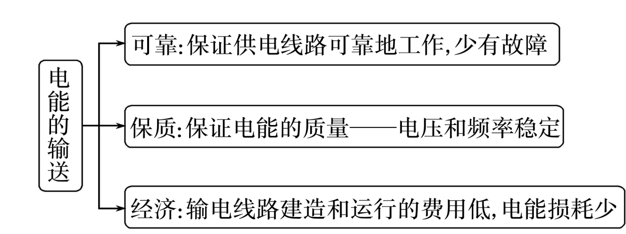
D. 若换用额定电压相同,额定功率更大的灯泡,则原线圈输入功率将增大

3.4　电能的输送

知识清单

（一）降低输电损耗的两个途径

1. 输送电能的基本要求



2. 降低输电损耗的两个途径

（1）减小输电线的电阻:在输电距离一定的情况下,为了减小输电线的电阻,应当选用电阻率小的金属材料,还要尽可能增加导线的横截面积。

（2）减小输电线中的电流:为了降低输电线路中的损耗,就要减小输电电流。为了减小输电电流,同时又要保证向用户提供一定的电功率,就要提高输电电压。

（二）电网供电

1. 远距离输电的基本原理:在发电站内用升压变压器升压,然后进行远距离输电,在用电区域通过降压变压器降到所需的电压。

2. 电网:通过网状的输电线、变电站,将许多电厂和广大用户连接起来,形成全国性或地区性的输电网络。

3. 电网输电的优点

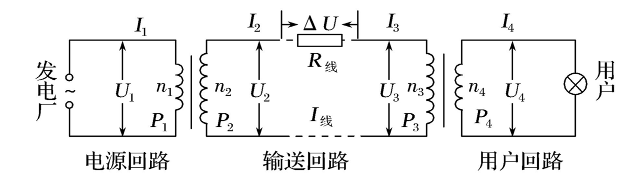
（1）降低一次能源的运输成本,获得最大的经济效益。

（2）减小断电的风险,调剂不同地区电力供需的平衡。

（3）合理调度电力,使电力的供应更加可靠,质量更高。

（三）远距离输电的电路分析

1. 输电过程示意图



2. 高压输电过程的几个电压的区别

（1）输送电压:输电线始端电压,如图中的 U_2。

（2）用户电压:最终用户得到的电压,如图中的 U_4。

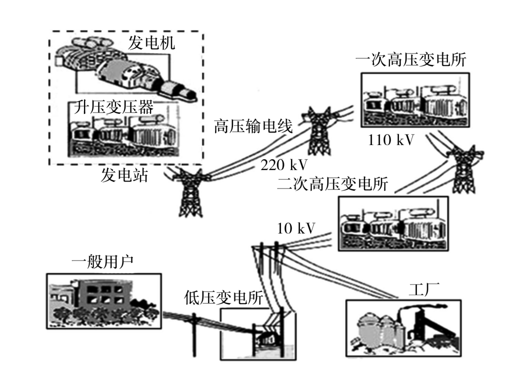
（3）损失电压

①表示形式:输电线始端电压与末端电压的差值,即

$\Delta U = U_2 - U_3 = I_2 R_{线}$。

②形成原因:输电线上的电压损失原因是输电导线有电阻,电流通过输电线时,会在线路上产生电势降落,致使输电线路末端的电压比起始端电压要低。

高压输电过程示意图



3. 输电过程的几个基本关系

（1）功率关系:$P_1 = P_2$,$P_2 = P_{线} + P_3$,$P_3 = P_4$。

（2）电压关系:$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$,$U_2 = U_{线} + U_3$,$\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$。

(3)电流关系:$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$,$I_2=I_{线}=I_3$,$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$。

(4)输电电流:$I_{线}=\frac{P_2}{U_2}=\frac{P_3}{U_3}=\frac{U_2-U_3}{R_{线}}$。

(5)输电导线上损耗的电功率:

$P_{线}=I_{线}U_{线}=I_{线}^2R_{线}=\left[\frac{P_2}{U_2}\right]^2R_{线}$。

课堂笔记

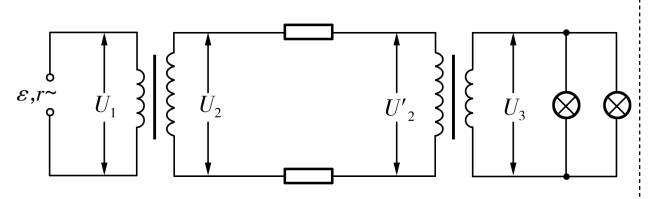
典型例题

【例1】输电导线的电阻为 R,输送电功率为 P,现在分别用 U_1 和 U_2 两种电压来输电,则两次输电线上损失的功率之比为( )

A. $U_1:U_2$　　B. $U_1^2:U_2^2$

C. $U_2^2:U_1^2$　　D. $U_2:U_1$

【例2】如图所示为某学校一套校内备用供电系统,由一台内阻为 1 Ω 的发电机向全校 22 个教室(每个教室有“220 V,60 W”的白炽灯 6 盏)供电。如果输电线的总电阻 R 是 4 Ω,升压变压器和降压变压器(都认为是理想变压器)的匝数比分别是 1∶4 和 4∶1,那么:



(1)发电机的输出功率应是多大?

(2)求升压变压器中原线圈的电压 U_1 和电流 I_1?

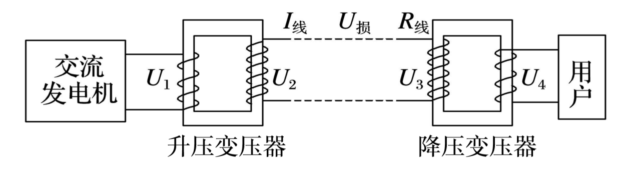
(3)输电效率是多少?

【例3】特高压输电可使输送中的电能损耗和电压损失大幅降低。我国已成功掌握并实际应用了特高压输电技术。假设从 A 处采用 550 kV 的超高压向 B 处输电,输电线上损耗的电功率为 ΔP,到达 B 处时电压下降了 ΔU。在保持 A 处输送的电功率和输电线电阻都不变的条件下,改用 1100 kV 特高压输电,输电线上损耗的电功率变为 $\Delta P'$,到达 B 处时电压下降了 $\Delta U'$。不考虑其他因素的影响,则( )

A. $\Delta P'=\frac{1}{8}\Delta P$　　B. $\Delta P'=\frac{1}{2}\Delta P$

C. $\Delta U'=\frac{1}{4}\Delta U$　　D. $\Delta U'=\frac{1}{2}\Delta U$

【例4】一座小型水电站,水以 3 m/s 的速度流入水轮机,而以 1 m/s 的速度流出,流出水位比流入水位低 1.6 m,水的流量为 1 m³/s。如果水流机械能减少量的 75% 供给发电机,问:



(1)若发电机效率为80%,则发电机的输出功率为多大?(g 取 10 m/s²)

(2)在(1)的条件下,发电机的输出电压为240 V,输电线路电阻为24 Ω,允许损失的电功率为5%,用户所需电压为220 V,如图所示,则升压变压器和降压变压器的原、副线圈匝数比各是多少?(变压器均为理想变压器)

课后训练

1. 下列关于减少远距离输电导线上热损耗的说法中,正确的是(　　)

A. 因为热功率 $P=\frac{U^2}{R}$,所以应降低输电电压,增大输电导线的电阻,才能减少输电导线上的热损耗

B. 因为热功率 $P=IU$,所以应采用低电压、小电流输电,才能减少输电导线上的热损耗

C. 因为热功率 $P=I^2R$,所以可采用减小输电线电阻或减小输电电流的方法来减少输电导线上的热损耗

D. 以上说法均不正确

2. 某发电厂原来用11 kV的交变电压输电,后来改用升压变压器将电压升到220 kV输电,输送的电功率都是 P。若输电线路的电阻为 R,下列说法正确的是(　　)

A. 根据公式 $I=\frac{P}{U}$,提高电压后输电线上的电流变为原来的 $\frac{1}{200}$

B. 根据公式 $I=\frac{U}{R}$,提高电压后输电线上的电流变为原来的20倍

C. 根据公式 $P_损=I^2R=\frac{P^2}{U^2}R$,提高电压后输电线上的功率损失减为原来的 $\frac{1}{400}$

D. 根据公式 $P=\frac{U^2}{R}$,提高电压后输电线上的功率损耗将增大为原来的400倍

3. 中国已投产运行的1000 kV特高压输电,是目前世界上电压最高的输电工程。假设甲、乙两地原来用500 kV的超高压输电,在保持输送电功率和输电线电阻都不变的条件下,现改用1000 kV特高压输电,不考虑其他因素的影响,则(　　)

A. 输电电流变为原来的2倍

B. 输电线上降落的电压将变为原来的2倍

C. 输电线上降落的电压将变为原来的 $\frac{1}{2}$

D. 输电线上损耗的电功率将变为原来的 $\frac{1}{2}$

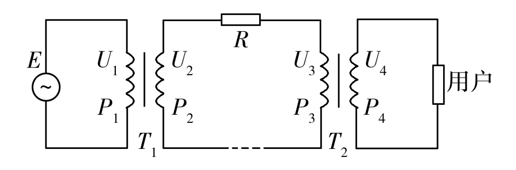
4. 发电厂发电机的输出电压为 U_1,发电厂至学校的输电线总电阻为 $R_线$,通过输电线的电流为 I,学校输入电压为 U_2。下列计算输电线功率损耗的式子中,错误的是(　　)

A. $\frac{U_1^2}{R_线}$　　B. $\frac{(U_1-U_2)^2}{R_线}$

C. $I^2R_线$　　D. $I(U_1-U_2)$

5. 如图所示,一个小型水电站,其交流发电机

的输出电压 U_1 一定，通过理想升压变压器 T_1 和理想降压变压器 T_2 向远处用户供电，输电线的总电阻为 R。T_1 的输入电压和输入功率分别为 U_1 和 P_1，它的输出电压和输出功率分别为 U_2 和 P_2；T_2 的输入电压和输入功率分别为 U_3 和 P_3，它的输出电压和输出功率分别为 U_4 和 P_4。下列说法正确的是(　　)



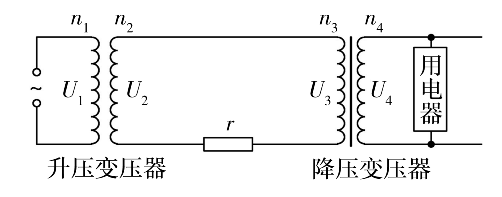
A. 当用户的用电器增多时，U_2 减小，U_4 变小

B. 当用户的用电器增多时，P_1 变大，P_3 减小

C. 输电线上损失的功率为 $\Delta P=\frac{U_2^2}{R}$

D. 要减小线路的损耗，应增大升压变压器的匝数比 $\frac{n_2}{n_1}$，同时应增大降压变压器的匝数比 $\frac{n_3}{n_4}$

6. 如图为远距离输电示意图，发电机的输出电压和输电线的电阻、理想变压器匝数均不变，且 $n_1:n_2=n_4:n_3$。当用户用电器的总电阻减小时(　　)



A. $U_1:U_2=U_4:U_3$

B. 用户的电压 U_4 增大

C. 输电线上损失的功率减小

D. 用户消耗的功率等于发电机的输出功率

7. 某水电站，用总电阻为 2.5 Ω 的输电线输电给 500 km 外的用户，其输出电功率是 3×10^6 kW。现用 500 kV 电压输电，下列说法正确的是(　　)

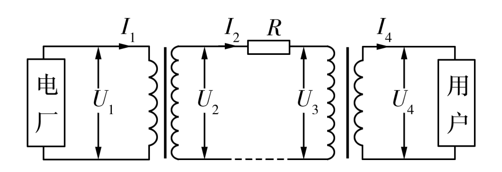
A. 输电线上输送的电流大小为 2×10^5 A

B. 输电线上由电阻造成的电压损失为 15 kV

C. 输电线上损失的功率为 $\Delta P=\frac{U^2}{r}$，U 为输电电压，r 为输电线的电阻

D. 输电线上损失的功率为 9×10^5 W

8. (多选)远距离输电线路简化如图所示，电厂输送电功率不变，变压器均为理想变压器，图中标示了电压和电流，其中输电线总电阻为 R，则(　　)



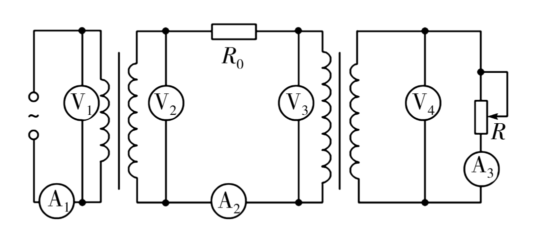
A. $I_2<\frac{U_2}{R}$

B. 输电线损失的电功率为 $\frac{U_2^2}{R}$

C. 提高输送电压 U_2，则输电线电流 I_2 增大

D. 电厂输送电功率为 U_2I_2

9. (多选)如图所示是发电厂通过升压变压器进行高压输电，接近用户端时再通过降压变压器降压给用户供电的示意图，图中变压器均可视为理想变压器，电表均为理想交流电表。设发电厂输出的电压一定，两条输电线总电阻用 R_0 表示，并且电阻不变。变阻器 R 相当于用户用电器的总电阻。当用电器增加时，相当于 R 变小，则当用电进入高峰时(　　)



A. 电压表 V_1、V_2 的读数均不变，电流表 A_2

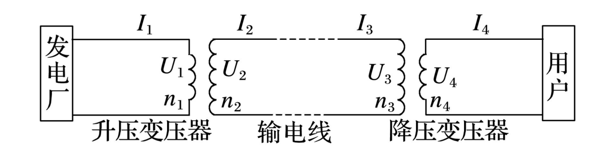
的读数增大,电流表 A_1 的读数减小

B. 电压表 V_3、V_4 的读数均减小,电流表 A_2 的读数增大,电流表 A_3 的读数增大

C. 电压表 V_2、V_3 的读数之差与电流表 A_2 的读数的比值不变

D. 线路损耗功率增大

10. 随着经济发展,用电需求大幅增加,当电力供应紧张时,有关部门就会对部分用户进行拉闸限电。如图是远距离输电的原理图,假设发电厂输出电压恒定不变,输电线的电阻为 R,两个变压器均为理想变压器。在某次拉闸限电后(假设所有用电器可视为纯电阻)电网中数据发生变化,下列说法正确的是(　　)



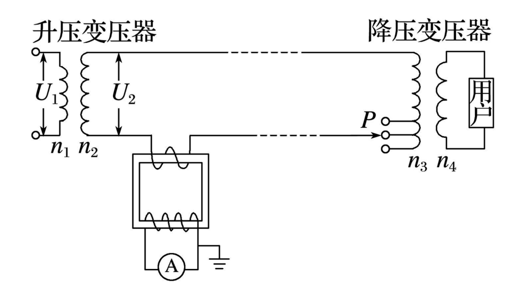
A. 降压变压器的输出电压 U_4 减小

B. 升压变压器的输出电流 I_2 增大

C. 输电线上损失的功率减小

D. 发电厂输出的总功率增大

11. 如图是某小型电站高压输电示意图,变压器均为理想变压器,发电机的输出功率为 20 kW。在输电线路上接入一个电流互感器,其原、副线圈的匝数比为 1∶10,电流表的示数为 1 A,输电线的总电阻为 10 Ω,下列说法错误的是(　　)



A. 输电线中电流的有效值为 10 A

B. 升压变压器的输出电压 $U_2=2$ kV

C. 用户获得的功率为 19 kW

D. 将 P 下移,用户获得的电压将增大

12. 发电机两端的电压为 220 V,输出功率 44 kW,输电导线的总电阻为 0.2 Ω,如果用原、副线圈匝数比为 1∶10 的升压变压器升压,经输电线后,再用原、副线圈匝数比为 10∶1的降压变压器降压供给用户。

(1)画出全过程的线路示意图;

(2)求用户得到的电压和功率;

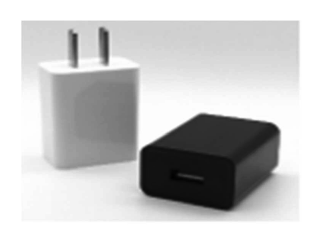
(3)若不经过变压而直接送到用户,求用户得到的电压和功率。

第三章　章末检测

（测试时间：100 分钟）

一、选择题

1. 如图所示为某款手机充电器,其铭牌标识如下:“输入:AC、220 V、50 Hz”,“输出:DC、3 V、6 V、9 V、12 V”,“电流:1000 mA ~1500 mA”。该充电器正常工作时,下列说法正确的是(　　)



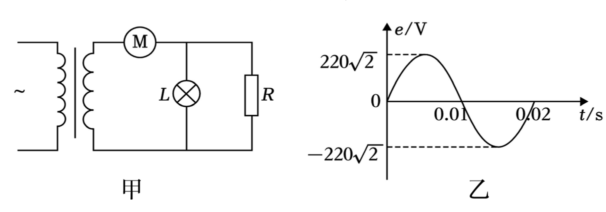
A. 输入电压的最大值为 220 V,频率为 50 Hz

B. 充电器输出功率的变化范围为 3 ~18 W

C. 充电器内部变压器的原线圈匝数小于副线圈匝数

D. 充电器内部变压器输入电压的频率大于输出电压的频率

2. 在如图甲所示的电路中,电动机的额定电压为 4 V,灯泡上标有“4 V,4 W”,定值电阻 R 的阻值为 4 Ω。当变压器原线圈接如图乙所示的交流电时,电动机和灯泡均正常工作,且电动机的输出功率为 6 W。下列说法正确的是(　　)



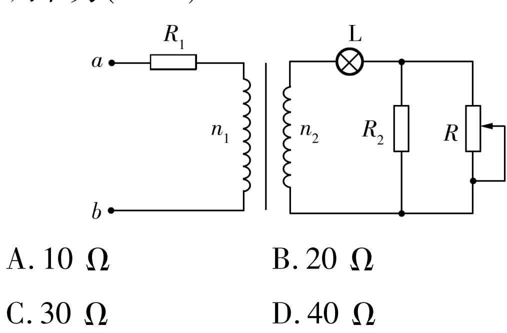
A. 变压器原、副线圈的匝数比为 55∶1

B. 电动机的额定功率为 7 W

C. 电动机的内阻为 0.5 Ω

D. 若灯泡损坏导致断路,则电动机也会被烧坏

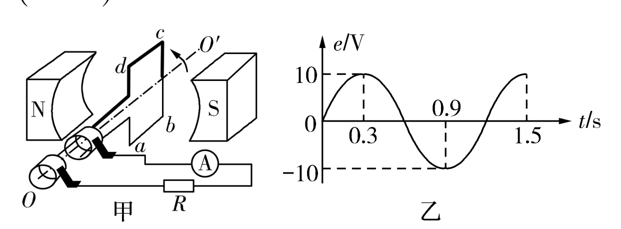
3. 如图所示,理想变压器的原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=4:1$,a、b 间接入 220 V 的交流电,灯泡 L 的电阻恒为 15 Ω,额定电压为 24 V,定值电阻 $R_1=150$ Ω,$R_2=15$ Ω,滑动变阻器 R 最大阻值为 50 Ω。为使灯泡 L 正常工作,滑动变阻器接入电路的电阻应调节为(　　)



A. 10 Ω　　　B. 20 Ω

C. 30 Ω　　　D. 40 Ω

4. 如图甲所示为一交流发电机的示意图,两磁极间的磁场可视为匀强磁场,矩形金属线圈 $abcd$ 绕轴 OO' 匀速转动,线圈转动的过程中发电机的感应电动势 e 随时间 t 变化的图像如图乙所示。下列说法正确的是(　　)



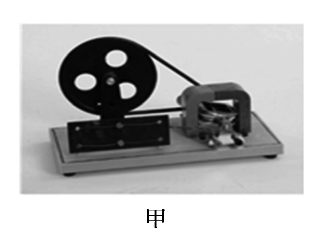
A. 此发电机电动势的有效值为 10 V

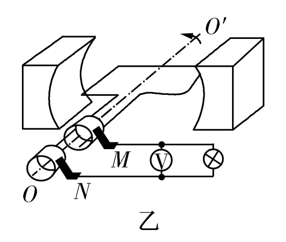
B. $t=0.9$ s 时,线圈平面与图示线圈的位置垂直

C. 0.1 ~0.3 s 时间内,发电机的平均电动势为 7.5 V

D. 发电机电动势的瞬时值表达式为 $e=10\sin t(\text{V})$

5. 手摇式发电机是我们教学中常用的演示工具，如图甲所示，可以简化为图乙。一个小型旋转电枢式交流发电机的矩形线圈面积为 S，匝数为 n，线圈总电阻为 r，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中以矩形线圈中轴线为轴、以角速度 ω 匀速转动，产生的交流电通过 M、N 与外电路连接，如图乙所示，外电路电灯电阻为 R，电压表为理想交流电表。在线圈由平行于磁场方向位置转过 90°的过程中，下列说法正确的是(　　)


甲



乙

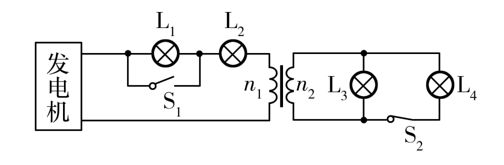
A. 电压表 V 的示数为$\dfrac{n\omega BSR}{R+r}$

B. 通过灯泡的电荷量为$\dfrac{n^2BS}{R+r}$

C. 电灯中产生的焦耳热为$\dfrac{n^2B^2S^2\pi\omega R}{4(R+r)^2}$

D. 从线圈平行于磁场方向位置开始计时，通过线圈中感应电流的瞬时值表达式为 $i=\dfrac{n\omega BS}{R+r}\sin\omega t$

6. 如图所示，发电机可输出频率一定、电压有效值恒为 U 的正弦交流电，变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2，变压器可视为理想变压器。开始时开关 S_1 断开，S_2 闭合，四个灯泡亮度相同。灯泡规格一样且不计灯丝电阻随温度的变化。下列说法正确的是(　　)



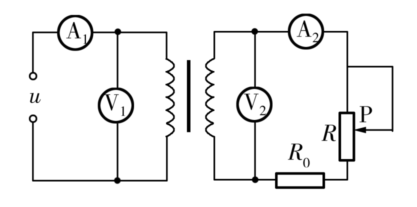
A. 变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=1:2$

B. 发电机输出电压 U 与一个灯泡两端电压 U_L 的比为 $U:U_L=1:4$

C. 若开关 S_1 闭合，则灯泡 L_2 变亮，L_3、L_4 变暗

D. 若开关 S_2 断开，则灯泡 L_1、L_2 变暗，L_3 变亮

7. 如图所示理想变压器原线圈接 $u=220\sqrt{2}\sin 314t(\text{V})$ 的正弦交流电，副线圈电路中 R_0 为定值电阻，R 是滑动变阻器，所有电表均为理想电表，其中电压表 V_2 的示数为 11 V。下列说法正确的是(　　)



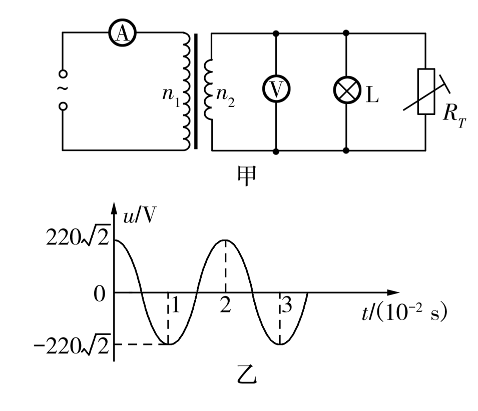
A. 副线圈中电流的频率为 100 Hz

B. 变压器原、副线圈的匝数比为 20∶1

C. 滑片 P 向上滑动过程中，V_2 示数变大，A_2 示数变小

D. 滑片 P 向下滑动过程中，R_0 消耗的功率减小，变压器输入功率增大

8. 如图甲所示，理想变压器的原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2，R_T 为一热敏电阻，其阻值随着温度的升高而减小，灯泡 L 的额定功率为 6 W，不计导线电阻，电流表和电压表均为理想电表。当原线圈输入如图乙所示的电压且环境温度为 20 ℃时，电流表示数为 0.05 A，电压表示数为 10 V，L 正常发光，下列说法正确的是(　　)



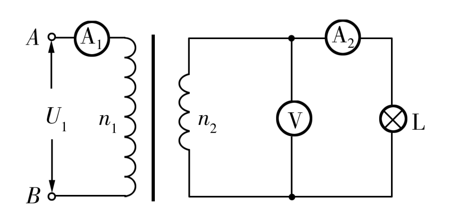
A. $n_1:n_2=22\sqrt{2}:1$

B. 20 ℃时的 R_T 阻值为 20 Ω

C. 若环境温度升高，电压表示数变小

D. 若环境温度升高，变压器输入功率变小

9. 如图所示，理想变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=2:1$，电流表和电压表均为理想电表，灯泡电阻 $R_L=6\ \Omega$，A、B 两端输入正弦式交流电压的有效值 $U_1=12$ V。下列说法正确的是（　　）



A. 电压表 V 的读数为 24 V

B. 电流表 A_1 的读数为 0.5 A

C. 电流表 A_2 的读数为 2 A

D. 变压器输入功率为 12 W

10. 图甲是一款手机无线充电接收器，其工作原理如图乙所示，其中送电线圈和受电线圈匝数比 $n_1:n_2=5:1$，两个线圈中所接电阻的阻值均为 R。当 a、b 间接上 220 V 的正弦交变电源后，受电线圈中产生的电流有效值为 2 A。若把装置线圈视为理想变压器，手机充电时，下列说法正确的是（　　）

无线充电接收器　无线充电器　受电线圈　送电线圈　手机

甲　　　　乙

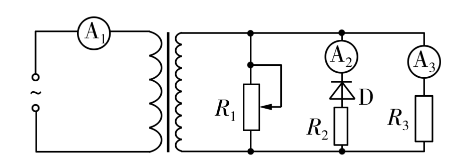
A. c、d 间电压为 $U_2=44$ V

B. 送电线圈中电流的有效值为 $I_1=0.4$ A

C. 送电线圈和受电线圈线路上所接电阻 R 两端的电压之比为 5∶1

D. 送电线圈和受电线圈线路上所接电阻 R 消耗的电功率之比为 25∶1

11. 如图所示，理想变压器原、副线圈匝数比 $n_1:n_2=1:2$，原线圈接电压随时间变化规律为 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$（V）的交流电源。$A_1$、$A_2$、$A_3$ 是三个理想电流表，D 为理想二极管，R_1 是滑动变阻器，定值电阻 $R_2=R_3=220\ \Omega$，则（　　）



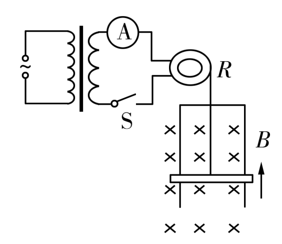
A. 电流表 A_2 的示数为 1.0 A

B. 电流表 A_3 的示数为 2.0 A

C. 滑动变阻器 R_1 的滑片向下滑动时，电流表 A_1 的示数将变小

D. 滑动变阻器 R_1 的滑片向上滑动时，变压器输入功率增大

12. 如图所示，有一理想变压器，原、副线圈的匝数比为 $n:1$，原线圈两端接入正弦交流电源，电压为 $u=U_0\cos 100\pi t$，副线圈接有一个交流电流表和一个电动机。电动机线圈电阻为 R，当开关 S 接通后，电流表读数为 I，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，电动机带动一电阻为 r、质量为 m、长为 l 的金属杆在光滑的没有电阻的导轨上以速度 v 匀速上升，重力加速度为 g。下列说法正确的是（　　）



A. t 时间内，通过金属杆的电荷量为 $\frac{Bvt}{R}$

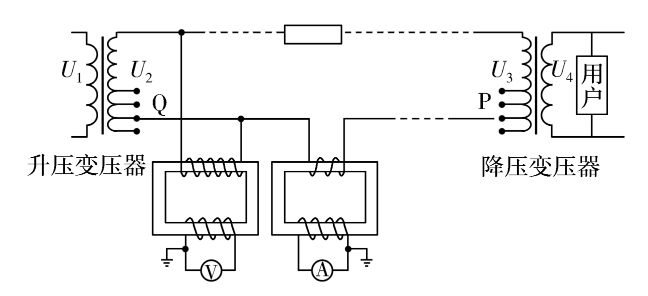
B. 电动机的热功率为 I^2R，电动机输出功率为 $\frac{U_0}{n}I-I^2R$

C. 副线圈的电流频率是 50 Hz，电流表的

示数 I 等于$\frac{U_0}{\sqrt{2}nR}$

D. 变压器的输入功率为 $I^2R+mgv+\frac{B^2l^2v^2}{r}$

13. 如图所示为某小型发电站高压输电示意图。升压变压器原、副线圈两端的电压分别为 U_1 和 U_2，降压变压器原、副线圈两端的电压分别为 U_3 和 U_4。在输电线路的起始端接入两个互感器，两个互感器原、副线圈的匝数比分别为 10∶1和 1∶10。各互感器和电表均为理想的，则下列说法正确的是(　　)



A. 若电压表的示数为 220 V，电流表的示数为 10 A，线路输送电功率为 110 kW

B. 若保持发电机输送功率一定，仅将滑片 Q 下移，输电线损耗功率增加

C. 若保持发电机输出电压 U_1 一定，仅将滑片 Q 下移，输电线损耗电压减少

D. 若发电机输出电压 U_1 一定，用户数增加，为维持用户电压 U_4 一定，可将滑片 P 上移

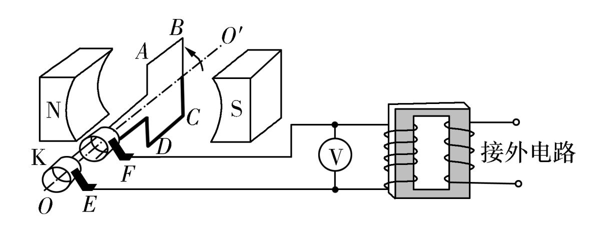
二、计算题

14. 某供电系统电路如图所示，磁体间的磁场可视为匀强磁场，磁感应强度大小为 0. 20 T。矩形线圈 $ABCD$ 匝数为 100 匝、面积为 0. 5 m^2，绕垂直于磁场的轴匀速转动，角速度为 $90\sqrt{2}$ rad/s，线圈电阻忽略不计。线圈输出端通过电刷 E、F 与理想变压器的原线圈相连，副线圈输出电压为 220 V，求：

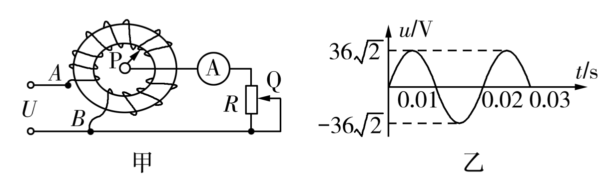
(1)线圈转到图中位置时感应电动势的大小；

(2)图中交流电压表的示数；

(3)变压器的原、副线圈匝数之比。



15. 如图甲所示是调压变压器的原理图，线圈 AB 绕在一个铁芯上，总匝数为 1000 匝。AB 间加上如图乙所示的正弦交流电压，移动滑动触头 P 的位置，就可以调节输出电压。在输出端连接了滑动变阻器和理想交流电流表，变阻器的滑动触头为 Q。已知开始时滑动触头 Q 位于变阻器的最下端，且 BP 间线圈匝数刚好是 500 匝，变阻器的最大阻值等于 72 Ω。



甲　　　　乙

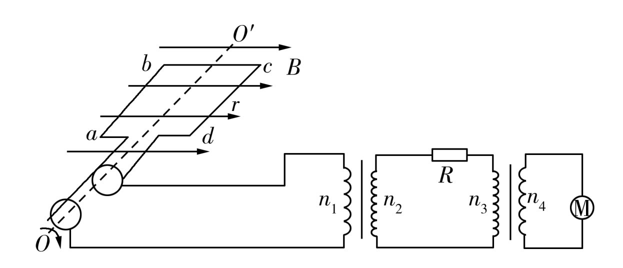
(1)开始时，电流表示数为多少?

(2)保持 P 的位置不动，将 Q 向上移动到滑动变阻器的中点时，滑动变阻器消耗的功率为多大?

(3)保持 Q 在滑动变阻器的中点的位置

不动，将 P 沿逆时针方向转动多少匝时，滑动变阻器消耗的功率为原来的 4 倍？

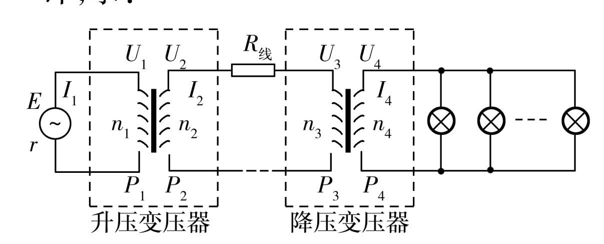
16. 如图所示，用一小型交流发电机向远处用户供电，已知发电机线圈 $abcd$ 匝数 $N=100$ 匝，面积 $S=0.03\ \text{m}^2$，发电机线圈电阻 r 不可忽略，线圈匀速转动的角速度 $\omega=100\pi\ \text{rad/s}$，匀强磁场的磁感应强度 $B=\dfrac{\sqrt{2}}{\pi}\ \text{T}$。输电时先用升压变压器将电压升高，到达用户区再用降压变压器将电压降下来后供用户使用。输电导线的总电阻 $R=10\ \Omega$，变压器都是理想变压器，降压变压器原、副线圈的匝数比为 $n_3:n_4=10:1$。若用户区标有“220 V，8.8 kW”的电动机恰能正常工作，求：



(1)输电线路上损耗的电功率 ΔP；

(2)若升压变压器原、副线圈匝数比为 $n_1:n_2=1:8$，交流发电机线圈电阻 r 上产生的热功率。

17. 一小型发电机通过升压、降压变压器把电能输送给某工厂，已知发电机的输出功率为 50 kW，输出电压为 500 V，升压变压器原、副线圈匝数比为 1∶5，两个变压器间的输电导线的总电阻为 15 Ω，降压变压器的输出电压为 220 V，变压器的损耗忽略，在输电过程中电抗造成电压的损失不计，求：



(1)升压变压器副线圈两端的电压；

(2)输电线上损耗的电功率；

(3)降压变压器原、副线圈的匝数比。

(4)该厂安装的都是“220 V，40 W”的电灯，不考虑其他电器，则允许同时开多少盏灯？